



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**Implementación de un Plan de mantenimiento Preventivo para
mejorar la disponibilidad de bombas sumergibles Empresa EICM
Engineering Group, Arequipa-2021**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
Ingeniero Industrial**

AUTOR:

Castro Condori, Pedro César (ORCID: 0000-0001-5555-7795)

ASESOR:

Bazán Robles, Romel Darío (ORCID: 0000-0002-9529-9310)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Gestión Empresarial y Productiva

LIMA – PERÚ

2021

Dedicatoria

Dedico con todo mi corazón esta tesis a mi madre Fabiana, sé que desde el cielo siempre estas cuidándome, protegiéndome y siempre confiabas en que, lo podía lograr. Por eso quiero darte mi trabajo en retribución por tus consejos y amor. Madre mía. Te amo

Agradecimiento

Agradecerle a Papá lindo, por haberme permitido llegar hasta el día de hoy, por ser mi luz y mi camino. Por haberme dado la fuerza suficiente para seguir avanzando y no decaer en los momentos difíciles.

Gracias a mis Padres y mi Familia, sin ustedes y sus consejos, su amor y su cariño yo no habría llegado hasta donde estoy.

Agradecer a mi Profesor y asesor de tesis por haberme guiado en este proyecto, en base a su experiencia y sabiduría ha sabido direccionar mis conocimientos.

Índice de Contenidos

Índice de Tablas	v
Índice de figuras	vi
Resumen	viii
Abstract	ix
I. INTRODUCCIÓN	10
II. MARCO TEÓRICO.....	14
III. METODOLOGÍA	30
3.1. Tipo y diseño de la investigación	30
3.2. Variables y operacionalización.....	31
3.3. Población, muestra, muestreo, unidad de análisis	35
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	36
3.5. Procedimientos	36
3.6. Método de análisis de la información	52
3.7. Aspectos Éticos.....	53
IV. RESULTADOS	54
V. DISCUSIÓN	73
VI.CONCLUSIONES	78
VII.RECOMENDACIONES	79
REFERENCIAS.....	81
ANEXOS	89

Índice de Tablas

Tabla 1. Tabla de Pareto	11
Tabla 2. Datos técnicos de la bomba Gorman Rupp S8D1-275HP	28
Tabla 3. Hoja de descripción de fallas.....	37
Tabla 4. Criterios para valorizar la criticidad de las fallas.....	39
Tabla 5. Evaluación de criticidad de los modos de falla	39
Tabla 6. Hoja de decisión– Bomba Gorman Rupp	41
Tabla 7. Mantenimiento preventivo	46
Tabla 8. Costos de Mantenimiento antes del Plan	49
Tabla 9. Costos de Mantenimiento durante el Plan.....	50
Tabla 10. Comparación de Costos Pre Test y Post Test.....	50
Tabla 11. Planificación (pre test – post test).....	55
Tabla 12. Cumplimiento de la programación (pre test – post test)	57
Tabla 13. Ejecución de mantenimientos (pre test – post test)	58
Tabla 14. Control de actividades realizadas (pre test – post test)	60
Tabla 15. Cálculo de la confiabilidad	62
Tabla 16. Cálculo de la mantenibilidad.....	63
Tabla 17. Disponibilidad antes y después del mantenimiento preventivo.....	65
Tabla 18. Prueba de normalidad para la variable Disponibilidad.....	66
Tabla 19. Estadísticos de la prueba T de Student para “Disponibilidad”	67
Tabla 20. Prueba T de Student para “Disponibilidad”	68
Tabla 21. Prueba de normalidad de los datos de Confiabilidad	68
Tabla 22. Estadísticos de la prueba T de Student para “Confiabilidad”	69
Tabla 23. Prueba T de Student para “Confiabilidad”	70
Tabla 24. Prueba de normalidad de “Mantenibilidad”	70
Tabla 25. Estadísticos de la prueba t de Student “Mantenibilidad”	71
Tabla 26. Prueba T de Student “Mantenibilidad”	72

Índice de figuras

Figura 1. Gráfico de Pareto	11
Figura 2. Bomba Gorman Rupp 275HP.....	27
Figura 3. Partes de la bomba GORMAN RUPP	29
Figura 4. Matriz de criticidad	38
Figura 5. Distribución de personal.....	45
Figura 6. Comparación de Costos Pre Test y Post Test.....	51
Figura 7. Planificación (pretest – post-test)	55
Figura 8. Cumplimiento de la programación (pre test – post test)	57
Figura 9. Ejecución de mantenimientos (pre test – post test).....	59
Figura 10. Control de actividades realizadas (pre test – post test).....	60
Figura 11. Confiabilidad de las bombas	62
Figura 12. Mantenibilidad de las bombas	64
Figura 13. Disponibilidad de las bombas (antes y después)	65

Resumen

Para el estudio se considera como objetivo principal implementar un plan de mantenimiento preventivo para las bombas sumergibles Gorman Rupp de la empresa EICM Engineering S.A.C., con el fin de incrementar la disponibilidad de las mismas. Para lo cual esta investigación tomó un enfoque cuantitativo de alcance aplicativo y diseño pre experimental. Tomando como población y muestra las 31 bombas de tipo sumergibles con las que cuenta la empresa minera para el bombeo de aguas ácidas en su proceso de lixiviación. El instrumento de recolección de información utilizado fueron las fichas de observación. Se realizó las pruebas de hipótesis con la prueba T de student de medias relacionadas. Los resultados hallados fueron el aumento de horas de mantenimiento cumplidas de acuerdo a lo programado de 72.74% a 89.58%, y el cumplimiento de número de actividades programadas de 67.96% a 89.99%. Mejorando así la disponibilidad de las bombas de 90% a 94%, a través de una mejora de la confiabilidad de 227.33 horas a 324 horas de trabajo continuo y una disminución de la mantenibilidad de 26.44 a 21.39 horas de mantenimiento. Finalizando que, el plan de mantenimiento preventivo mejoró significativamente la disponibilidad del conjunto de bombas.

Palabras Clave: mantenimiento, disponibilidad, confiabilidad, mantenibilidad.

Abstract

The main objective of this research was to implement a preventive maintenance plan for the Gorman Rupp submersible pumps of the company EICM Engineering S.A.C., in order to increase their availability. For which this research took a quantitative approach of applicative scope and pre-experimental design. Taking as population and showing the 31 submersible type pumps that the mining company has for pumping acidic water in its leaching process. The information collection instrument used was the observation files. Hypothesis tests were performed with the Student's T test of related means. The results found were the increase in maintenance hours fulfilled according to schedule from 72.74% to 89.58%, and compliance with the number of scheduled activities from 67.96% to 89.99%. Thus, improving the availability of the pumps from 90% to 94%, through an improvement in reliability from 227.33 hours to 324 hours of continuous work and a decrease in maintainability from 26.44 to 21.39 hours of maintenance. Therefore, it was concluded that the preventive maintenance plan significantly improved the availability of the pump set.

Keywords: preventive maintenance, availability, reliability, maintainability.

I. INTRODUCCIÓN

Realidad Problemática

La minería es un sector clave para el Perú, debido a su gran aporte a la economía, el país cuenta con una de las riquezas naturales más abundantes de Latinoamérica, más aún por la ubicación de la Cordillera de los Andes a lo largo del territorio, dotando al país con altos niveles de producción minera, situándolo como uno de los mayores productores de cobre, plata, zinc, estaño, plomo y oro (Ministerio de Energía y Minas, 2021). La industria minera aporta al Producto Bruto Interno (PBI) 10% del total nacional, además realiza el 60% de las exportaciones, representa el 16% de las inversiones privadas y aporta con el 19% de los impuestos generales (Gestión, 2020).

Una minera a tajo abierto que realiza el proceso de lixiviación como método de obtención del mineral, tiene un sistema de bombeo extenso, en el cual participan un total de 170 bombas, de diferentes modelos que están distribuidas en diferentes áreas, la mayoría de estas tienen el propósito de enviar la solución química hacia el PAD de lixiviación, donde, gracias a los químicos que contiene dicha solución se logra arrastrar el mineral puro y algunos otros elementos a una poza donde se acumulan para su posterior tratamiento.

Este sistema de bombeo cumple uno de los procesos de mayor importancia en la mina, por lo que, es necesario el estudio de probables problemas o dificultades que se puedan presentar en el funcionamiento de los mismos. En este caso, se realiza una investigación enfocada a las 31 bombas Gorman Rupp 275HP, que realizan el bombeo desde diversas zonas de la mina. Actualmente estas bombas sumergibles tienen una disponibilidad promedio de 90.36%, lo que provoca rezagos visibles en el procedimiento minero. Se reconoce las siguientes causas de la baja disponibilidad de la flota de bombas Gorman Rupp, presentadas en el anexo 6 como un diagrama de Ishikawa, donde se muestra la baja disponibilidad de las Bombas Sumergibles Gorman Rupp 275HP.

De las causas presentadas en el diagrama de Ishikawa se presentan en la siguiente tabla de acuerdo a su frecuencia y frecuencia acumulada

Tabla 1. Tabla de Pareto

Causas	Frecuencia	% frecuencia relativa	% frecuencia acumulada	Ley 80-20
Falta de un programa de mantenimientos preventivos	10	17.2%	17.2%	80%
Paradas no programadas	9	15.5%	32.7%	80%
Plan de mantenimiento de las bombas incompleto	8	13.8%	46.5%	80%
Falta de procedimientos	8	13.8%	60.3%	80%
No posee procedimientos de control de equipo	6	10.3%	70.6%	80%
Incumplimiento de revisiones	5	8.6%	79.2%	80%
Operaciones inadecuadas	4	6.9%	86.1%	20%
Clima Severo	4	6.9%	93.0%	20%
Falta de capacitaciones	2	3.5%	96.5%	20%
Control inadecuado del cumplimiento de mantenimientos	2	3.5%	100.0%	20%
TOTAL	58	100%		

Fuente: Elaboración propia

Asimismo, se presenta el diagrama de Pareto para identificar dinámicamente las causas que afectan en mayor grado al problema de baja disponibilidad de las bombas.

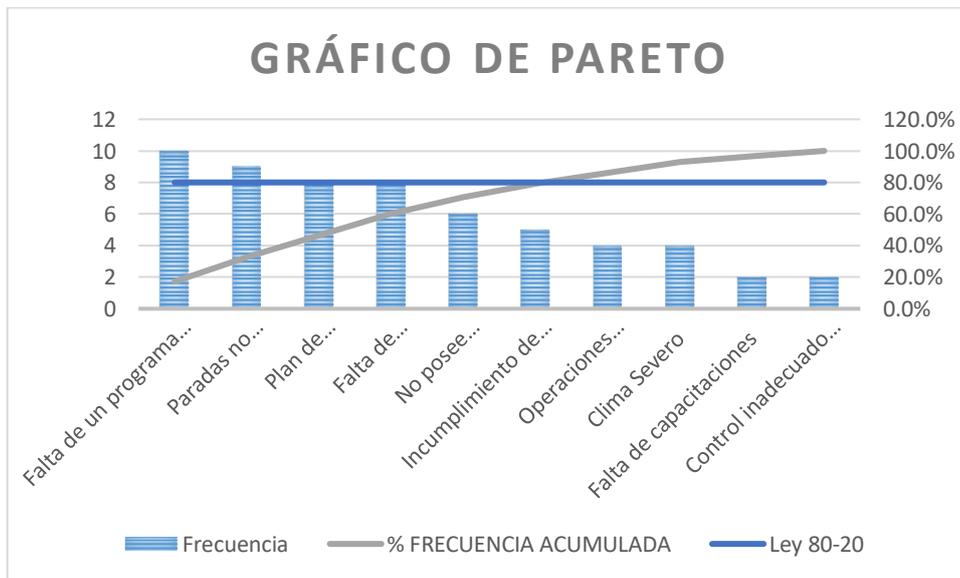


Figura 1. Gráfico de Pareto

Entre las causas de falla y paro de más peso son las relacionadas con el desgaste de algunos componentes internos los cuales son fabricados con elementos muy específicos y complejos, que de cambiarse continuamente representarían un costo elevado a la empresa. El propósito de este estudio es mejorar la disponibilidad de

dichas bombas para optimizar su funcionamiento en el proceso minero de la empresa.

Por consiguiente, se plantea las siguientes **preguntas**: como pregunta general se tiene que, ¿En qué medida la implementación de un Plan de mantenimiento Preventivo mejora la disponibilidad de las bombas sumergibles de la empresa EICM Engineering S.A.C., 2021?; como pregunta de investigación específica uno se tiene, ¿En qué medida la implementación de un Plan de mantenimiento Preventivo mejora la confiabilidad de las bombas sumergibles de la empresa EICM Engineering S.A.C., 2021? Y como pregunta específica dos se tiene, ¿En qué medida la implementación de un Plan de mantenimiento Preventivo mejora la mantenibilidad de las bombas sumergibles de la empresa EICM Engineering S.A.C., 2021?

La **justificación** del estudio, según Sánchez, Reyes & Mejía (2018), se denomina a la importancia y la fundamentación del trabajo investigativo a modo de responder las preguntas por qué y para qué se realiza el análisis científico (p. 83). La investigación se justifica teóricamente, dado que se busca proponer un modelo de mejora de un plan de mantenimiento preventivo que optimice la producción del proceso minero de la empresa a través de la incrementación del número de bombas disponibles, ya que, al ser una parte indispensable en el proceso de lixiviación, es importante contar con bombas aptas para el uso de manera continua. Se justifica en la práctica, dado que al proveer un plan de mantenimiento preventivo ayuda a aminorar los tiempos muertos por la inactividad de las bombas, se minimiza el número de fallas, se reduce los costos por mantenimientos correctivos, y se acrecientan el tiempo de actividad de las bombas. Se justifica en el ámbito social, dado que se propone una solución a una situación que pone en incertidumbre a colaboradores de una empresa minera, quienes requieren de los equipos de manera oportuna para realizar sus actividades.

Por tanto, los **objetivos** para el presente estudio se determinan: como objetivo general se tiene que, Determinar en qué medida la implementación de un Plan de mantenimiento Preventivo mejora la disponibilidad de las bombas Gorman Rupp de la empresa EICM Engineering S.A.C., y como objetivo específico uno se tiene, Determinar en qué medida la implementación de un Plan de mantenimiento Preventivo mejora la confiabilidad de las bombas Gorman Rupp de la empresa EICM Engineering S.A.C., como objetivo específico dos, Determinar en qué medida

la implementación de un Plan de mantenimiento Preventivo mejora la mantenibilidad de las bombas Gorman Rupp de la empresa EICM Engineering S.A.C.

Las **hipótesis** planteadas para la investigación son las siguientes: como hipótesis general se tiene que, la implementación de un Plan de mantenimiento Preventivo mejora significativamente la disponibilidad de las bombas Gorman Rupp de la empresa EICM Engineering S.A.C., 2021, y como hipótesis específica uno se tiene, la implementación de un Plan de mantenimiento Preventivo mejora significativamente la confiabilidad de las bombas Gorman Rupp de la empresa EICM Engineering S.A.C., como hipótesis específica dos, la implementación de un Plan de mantenimiento Preventivo mejora significativamente la mantenibilidad de las bombas Gorman Rupp de la empresa EICM Engineering S.A.C.

II. MARCO TEÓRICO

Antecedentes Nacionales

Paladines (2020) en su trabajo de investigación "*Propuesta de gestión de mantenimiento preventivo para mejorar la disponibilidad de los vehículos mayores de la I Macro Región Policial Piura Perú, 2019*" tuvo por objetivo poner en marcha una propuesta sobre el mantenimiento preventivo para perfeccionar la disposición de los vehículos en la compañía, a la par reducir el número de vehículos inoperativos. La investigación es aplicada de tipo no experimental, descriptiva y transversal, se hizo uso de la observación y se aplicó una encuesta al personal del área mecánica y conductores de la empresa, además se llevó cabo un análisis documental. Se obtuvo como resultado en el año 2019 el porcentaje de disponibilidad fue 79%, determinándose que ocurre fallas en su mayoría en el área de maestranza, las cuales se encontraban en el motor, suspensión y frenos. Se ve por conveniente establecer un patrón de mantenimiento en función al recorrido de los vehículos, para incrementar el tiempo entre fallas y reducir los períodos de reparación, lo que da la posibilidad de incrementar la disponibilidad a un 94%. Se calculó que la suma para la financiación es de S/ 897,198.00 nuevos soles, por último, se puntualiza que una gestión de mantenimiento preventivo es la clave para contar con mayores vehículos aptos dentro de la empresa.

Tueros & Ymbertis (2020) en su trabajo "*Aplicación de un plan de mantenimiento preventivo para mejorar la disponibilidad de máquinas en el área de extraído de la Empresa Vicco S.A*" tiene por finalidad la utilización de un plan de mantenimiento preventivo que eleve el número de máquinas utilizables en el área de estresado. La metodología es de tipo cuantitativo y aplicado; la población comprende los datos numéricos del trabajo realizado en mantenimiento y las cifras de disponibilidad de las máquinas. La técnica empleada fue el análisis y las fichas de registro de información. Se obtuvo como resultado, que la disponibilidad mejora debido al plan basado en el mantenimiento de tipo preventivo, esto queda demostrado a partir de la estadística diferencial que muestra la disponibilidad anterior de 67% y subsiguiente a la utilización del plan 93%. El autor concluye que, es viable para la empresa poner en marcha el plan de mantenimiento, ya que mejora la cantidad de máquinas disponibles de la empresa. Es factible realizar inspecciones periódicas para aumentar la manta inhibida de las máquinas esto queda demostrado con las

cifras del área de extraído el cual fue antes de las seis inspecciones 1.54 y luego pasó a 1.15.

Olivos (2020) en su investigación "*Mantenimiento predictivo aplicando cámara termográfica para mejorar condiciones y su efecto en la disponibilidad del tramo Cancas - Punta mero del alimentador 1055 en Punta Sal, Tumbes 2019*", el autor propone la implementación de un plan de mantenimiento predictivo que vaya de acuerdo a las medidas de los puntos críticos ubicados en la cámara termográfica. La investigación es aplicada, ya que emplea el plan propuesto, no experimental-descriptiva. la población estuvo comprendida por el alimentador 1055. Se empleó la observación como técnica directa y el análisis documental, utilizando fichas de inventario, así como fichas de análisis de documentos. Se obtuvo como resultado que el alimentador posee 19 equipos de protección, que por lo general presentan al menos una deficiencia en el periodo del 2019. Los puntos más críticos fueron tres seccionadores cut out los cuales poseen el periodo más largo de falla y que han tenido al equipo inoperativo, llegándose a registrar 13%, 10% y 10% de tiempo destinado para su reparación. El autor concluye que del análisis sobre la disponibilidad no se logró una disponibilidad del 100% sino que la disponibilidad de cada componente esta entre el 99.75% y 99.87%.

Carranza (2020) en su investigación "*Gestión del mantenimiento preventivo para mejorar la productividad en el proceso productivo de sacos de una empresa de Lambayeque*" tuvo como intención exponer un plan de mantenimiento preventivo que genere más beneficios monetarios a la empresa. La investigación fue de tipo cuantitativo – aplicada, de diseño no experimental. Se consideró como la población a todas las máquinas que participan en la elaboración de sacos. Se aplicó los métodos de RCM y MRP para el área de mantenimiento. De acuerdo a la aplicación de la propuesta de mejoramiento se obtuvo como resultado mejores índices de rendimiento total de la empresa en un 5,5%. El autor concluye que la propuesta de mantenimiento preventivo es económicamente factible, puesto que el beneficio costo que se va a obtener es de 1.96.

Clemente & Martínez (2020), en "*Plan de mantenimiento preventivo para incrementar la confiabilidad de las maquinarias pesadas en la empresa grupo señor de Pomallucay S.R.L., Huaraz -2020*" se propone incrementar la confiabilidad a través de un plan de mantenimiento preventivo de las maquinarias pesadas de la

empresa. La metodología fue de tipo aplicativo, con diseño experimental de clase pre experimental, su población estuvo conformada por 10 maquinarias pesadas de la empresa. El autor emplea las herramientas de cuestionario de entrevista, informes técnicos, historiales de fallas y fichas de registro, obteniendo como resultado que, a partir del análisis de criticidad, el conteo del número de fallas para el inicio del estudio es de 84%, a partir de estos datos se delimitó cuáles eran las maquinarias críticas. Después de elaborar y destinar el plan para su aplicación se tiene como resultado una confiabilidad del 94%. Se finaliza que partiendo de la aplicación de un método de mantenimiento de prevención la confiabilidad aumentó en 8%.

Antecedentes Internacionales

Zhang, Gao, Guo, Li, & Yang (2017) en su artículo "*Opportunistic maintenance for wind turbines considering imperfect, reliability-based maintenance*", proponer una estrategia de umbral de mantenimiento compuesto por dos niveles (el mantenimiento preventivo y el mantenimiento correctivo) para los parques eólicos tomando en cuenta los mantenimientos oportunistas y el mantenimiento imperfecto basado en la confiabilidad. Para un análisis comparativo entre los mantenimientos oportunistas y los no oportunistas, considerando los criterios de la tasa de costo de mantenimiento promedio. A partir de la simulación, se obtuvo como resultado el impacto que tienen varios costos de mantenimiento sobre el beneficio económico de la estrategia de mantenimiento estratégico oportuno. La simulación proporciona un escenario óptimo de confiabilidad de mantenimiento oportuno haciendo uso del algoritmo de optimización de la mosca de la fruta para proporcionar una guía para la operación real y el mantenimiento de los parques eólicos. Las conclusiones de los autores sobre la fiabilidad de los componentes de la turbina eólica en un tiempo real es esencial para el modelo de mantenimiento que se propone. Para entornos complejos, deberá de tomarse en cuenta las restricciones climáticas y la combinación de diferentes mantenimientos para cada tipo de turbina.

Vishnu & Regikumar (2016) en su investigación "*Reliability Based Maintenance Strategy Selection in Process Plants: A Case Study*", tiene por objetivo proponer un plan común para toda la planta, estableciendo por conveniente un Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) en las plantas de proceso. Se

opta por la metodología RCM, dado que es un método de mantenimiento adecuado para las máquinas de planta de acuerdo a su criticidad y los parámetros de confiabilidad. En principio se analizó el historial de mantenimientos de una unidad de proceso de la planta, determinando la criticidad de cada equipo para realizar el estudio del AMEF. Los resultados dan a conocer que todos los equipos de criticidad que se encuentran en la Clase A, necesitan de un mantenimiento preventivo y que el mantenimiento de averías es suficiente para todos los equipos restantes. El autor concluye, que la investigación realizada propone un marco basado en AHP que es mas conveniente por tratarse de mantenimiento enfocado en confiabilidad (RCM) para plantas de proceso.

Jagtap *et al* (2021), en su investigación *“RAM analysis and availability optimization of thermal power plant water circulation system using PSO”* tuvo por objetivo examinar los niveles de confiabilidad de un sistema de circulación de agua que es usado en una central eléctrica, que esta compuesto por cinco subsistemas. Los autores realizan la evaluación del sistema mediante la confiabilidad de diagrama de bloques, un árbol de fallas y el método probabilístico de Markov para hacer las simulaciones. A partir del análisis, se comprobó la maquinaria de mayor criticidad es la bomba de alimentación de la caldera y que los fallos que tiene afecta en gran manera la disponibilidad del sistema, el desaireador tambien es una elemento crítico pero este tiene menores consecuencias en el sistema. Ante ello los autores vieron por conveniente proponer un método de optimización de enjambres de partículas que eleven los índices de disponibilidad del sistema, la propuesta esta fundamentada en el marco RAM (marco de análisis de Disponibilidad y Mantenibilidad) su uso es ventajoso ya que ayuda a programar las tareas de mantenimiento en función de la criticidad de los subsistemas.

Ben, Mohamed, y Muduli (2021), en su investigación *“Effect of Preventive Maintenance on Machine Reliability in a Beverage Packaging Plant”*, tuvo por objetivo desarrollar una metodología sistemática que es posible de aplicar para la selección de dispositivos de una planta embotelladora y así, desarrollar una política de mantenimiento que sea óptima en base a los datos de confiabilidad de los dispositivos, sus efectos en la seguridad, tasas de fallas en el sistema, el tiempo de reparación, la logistica y criticidad de los componentes. Ante ello, se diseñó un plan de Mantenimiento Preventivo con la implementación de un equipo de

mantenimiento autónomo con el fin de mejorar los índices de confiabilidad de las máquinas críticas que estaban en constante paro y reparación. Como resultado del análisis de seis meses, se determinó que las maquinarias críticas son el envasador de botellas, inspector de botellas vacías y el paletizador; y después de la implementación del Plan se vio un incremento de confiabilidad de las maquinarias críticas, por ejemplo para el envasador de botellas su índice de confiabilidad incrementó en 15.5%, mientras que el inspector de botellas vacías incrementó en 2.8% dicho índice similar situación sucedió con el paletizador que mejoró su nivel de confiabilidad en 3.3%. El autor resalta la relación entre las tasas de fallo y el mantenimiento determinando que ante la situación que la empresa opera las 24 horas del día y seis días a la semana por lo que las máquinas trabajan casi de forma ininterrumpida, lo que provoca fallas y mayores requerimientos de mantenimiento correctivo reduciendo la confiabilidad de las máquinas, se debe considerar de antemano la implementación de un programa de mantenimiento preventivo en la planta.

Paprocka, Skolud y Kempa (2020), en su investigación *“Predictive maintenance scheduling with reliability characteristics depending on the phase of the machine life cycle”* tiene por objetivo ejecutar una investigación realista acerca de métodos para predecir las fallas en maquinarias bajo diferentes escenarios dependiendo de la fase del ciclo de vida en el que se encuentra la maquinaria, con el fin de generar confiabilidad. La investigación tiene un enfoque probabilístico que permite combinar los datos observados con el juicio profesional, mediante un estudio experimental. Se empleó una herramienta computacional que permite predecir el rendimiento de la confiabilidad en el periodo de vida descrito como la ausencia de fallas en las maquinarias. Igualmente, se aplicó el método de planificación de mantenimiento que consta de cuatro etapas, la programación base, el pronóstico del tiempo sin fallos en función a la teoría de probabilidades, la planificación de las tareas y por último la evaluación de estas predicciones. El autor concluye que, el emplear un plan de mantenimiento apoyado en la programación predictiva ayuda a resolver diversos tipos de problemas en la optimización; asimismo, si comparan la confiabilidad óptima y los perfiles de costos de cada escenario de mantenimiento, el usuario podrá optar por la solución idónea que tenga un costo acumulado mínimo esperado, durante un tiempo dado.

Tseng, Wu y Jia (2016) en su artículo *“Reliability and sensitivity analysis of the controllable repair system with warm standbys and working breakdown”* se plantearon como objetivos determinar un modelo que ayude a determinar la confiabilidad así como el tiempo medio de funcionalidad del sistema hasta que este presente una falla (con la técnica de Laplace), y realizar un análisis de sensibilidad de la confiabilidad del sistema. La experimentación del análisis numérico tiene la siguiente suposición el sistema (Metro) cuenta con unidades que pueden ser reemplazadas apenas exista una falla, situación que garantiza la operatividad del sistema, sin embargo las averías pueden darse y ello supone un tiempo para la reparación y un tiempo de inoperatividad, las que para el modelo se consideran que siguen distribuciones exponenciales. Los resultados del estudio a través de la experimentación del análisis numérico evaluarón la confiabilidad del sistema y el tiempo medio hasta la ocurrencia de la primera falla, los cuales sufrieron variaciones en función a parámetros establecidos, entonces se tiene que el índice de confiabilidad del sistema depende ante la variación de las tasas de fallo(λ), es decir si λ disminuye la confiabilidad se incrementará significativamente, también el ratio del servicio (μ_1) tiene una relación significativa y positiva con la confiabilidad del sistema, de igual manera los siguientes parámetros tienen una relación poco significativa representado como S (número de unidades en espera para algún reemplazo) y N (políticas de control) con una relación directa e indirecta con la confiabilidad del sistema respectivamente.

Velmurugan, Venkumar y Sudhakarapandian (2019) en su trabajo de investigación titulado *“Reliability Availability Maintainability Analysis in Forming Industry”* realizaron un estudio en el sector textil en un contexto en el que la competitividad en el mercado es alta, por ello tuvieron como objetivo elevar la productividad de una pequeña empresa a través de un programa de Gestión de Mantenimiento basado en la Confiabilidad, Mantenibilidad y Disponibilidad (RAM). Se aplicó el análisis de Márkov para la gestión de mantenimiento por su utilidad en la identificación de disponibilidad de sistemas y la previsión de un nuevo modelo en base al RAM. El establecimiento del nuevo modelo se basó en la maximización del RAM y la reutilización completa de la vida útil de los subsistemas, el resultado determinó una tasa de falla de 0.009 y de reparación de 1.08 a lo que los autores concluyeron que el modelo conduce a la disponibilidad máxima del subsistema

identificado como crítico (número 3), por lo tanto, el modelo ayuda a determinar los subsistemas crítico además del pronóstico de costos por actividad de mantenimiento.

Arias y Mejia (2018) en la revista denominada “*Reliability, availability and maintainability study for failure analysis in series capacitor bank*” tuvieron el propósito de introducir los fundamentos de confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad al Series Capacitor Bank, una empresa del rubro de electricidad. Mediante la metodología del espacio de estados y una simulación Montecarlo, el estudio determinó que la indisponibilidad del sistema eléctrico alcanzaba el 0.12%, traduciéndose a una tasa de disponibilidad de 99.88% a causa de cortes eléctricos forzados por averías. El programa de mantenimiento formulado por los investigadores incluyó la elección correcta de piezas de repuesto, permitiendo el incremento de disponibilidad a 99.99%.

Teorías relacionadas:

Mantenimiento

De acuerdo con Martins *et al.* (2020), poco a poco se ha ido considerando las tareas de mantenimiento cuyo fin principal era evitar incertidumbre en la disponibilidad de equipos y las instalaciones; se enfatiza la mejora de la fiabilidad en los costes y la seguridad (p. 1552). El mantenimiento es precisado como una acción de pertinencia de la Ingeniería, la cual emplea una diversidad de recursos estadísticos para la evaluación, mejora, diseño, planificación y mantenimiento con el objetivo de reducir costos (Cárdenas Molina & Olguín Valenzuela, 2020, pág. 10). Para Bazan (2020), se trata más que todo de un soporte que cubre un grupo de actividades que deben ejecutarse en una organización para tener un costo global de las tareas de mantenimiento y que estos costos sean mínimos en el ciclo de vida de cada equipos (p. 6). El mantenimiento comprende aquellas actividades para mantener un equipo en condiciones óptimas para su operatividad, garantizando el cumplimiento de la eficiencia deseada del equipo y la calidad del producto (Selcuk, 2019). Olarte (2010), citado por García Sierra, Cárcel Carrasco & Mendoza Valencia (2019), refiere al mantenimiento como una agrupación de actividades orientadas a garantizar la funcionalidad de los equipos y maquinarias que son parte importante

dentro de una organización, para que se maximice el rendimiento de tales equipos (p. 58).

De acuerdo con López (2017), los objetivos del mantenimiento son maximizar la disponibilidad, garantizar la confiabilidad y eficiencia, prevenir el deterioro y cumplir con todos los servicios necesarios para extender la vida útil de los equipos y las máquinas reparadas. Para lograr una correcta aplicación del mantenimiento, deberá tenerse en cuenta los factores de rendimiento del mantenimiento, los costos y riesgos deberán estar en balance con la finalidad de obtener soluciones de buena calidad (Vilarinho, Lopes, & Oliveira, 2017).

En base a los tipos de mantenimientos que existen, se considera el siguiente para la investigación:

Mantenimiento preventivo (MP)

El mantenimiento preventivo es un programa pre concebido, en base a un conglomerado de actividades ya establecidas en un cronograma, el cual establece las tareas de mantenimiento establecidos para cada máquina (Arango, Rosero, & Montoya, 2020). De acuerdo con Nava (2008), citado en Cedeño (2019), el MP son actividades planificadas para efectuar ajustes, reparaciones, o modificaciones en componentes de un equipo previamente a que se presente un incidente por falla o daño mayor. Las actividades de mantenimiento se caracterizan por realizarse de manera anticipada, es decir antes de que surja una falla, para ello, el MP resulta ser una solución muy efectiva para ser aplicada (Fujishima, Mori, Nishimura, Takayama, & Kato, 2017).

Según Aguado (2015), las actividades de mantenimiento que comprometen a máquinas y herramientas, tienen repercusión sobre todos los trabajadores, es decir que no solamente comprende al personal de mantenimiento. Se debe saber la duración de las acciones de mantenimiento, el comportamiento del proceso actual y hacer una estimación de su comportamiento futuro, para determinar los intervalos entre las tareas de mantenimiento (Rushel, Portela, & Rocha, 2017).

De acuerdo con Pérez (2021), encontraremos cuatro fases dentro del plan de mantenimiento preventivo: la planificación, programación, ejecución, control.

Dimensión 1: Planificación

De acuerdo con Pérez (2021), en la planificación se especifican aquellas tareas por desarrollar, el grupo a cargo de realizar los trabajos, los equipos y herramientas a

emplear, el tiempo aproximado para la ejecución de las actividades (p.40). Pater & Mitici (2021) consideran que la planificación dentro del MP se debe tomar en cuenta el número de fallas, registrándolas de acuerdo a como se presente las ocurrencias de degradación de un componente se lleva a cabo la planificación de una acción de mantenimiento (p. 1).

En la dimensión 1 se debe evaluar: el inventario técnico; las preferencias de manejo o uso; el control de costos; los factores técnicos que se encargan de regular la estructura del mantenimiento preventivo; el sistema de información; la planificación y operación efectiva de las tareas; tener en cuenta las existencias o la lista de inventario (repuestos, herramientas e insumos) (Pérez F. , 2021).

Dimensión 2: Programación

Pérez (2021) señala que en esta etapa se definen características como el día, hora y ubicación donde se efectuaran las tareas que se hayan planificado con anterioridad.

Un programa de mantenimiento coordina las actividades y las tareas periódicas, ya sean preventivas, predictivas y de detección, con el propósito de aumentar el nivel de disponibilidad de los activos que son reparados (Escudero, 2016). Además, el programa de mantenimiento define “la frecuencia de actividades de mantenimiento, las variables de control, el presupuesto de recursos y los procedimientos” (Escudero, 2016, pág. 56). Debe de elaborarse un plan general que especifique el mantenimiento que se debe realizar en cada parte de los equipos, en general el programa tiene que englobar la totalidad de las tareas a ejecutarse en el equipo, las cuales comprenden: el equipo, la ubicación, el rol de actividades a realizar, el número del programa, la frecuencia en que se llevará a realización cada actividad, los medios, el material y las especificaciones para el desarrollo de las tareas de mantenimiento (Integra Markets, 2017).

Dimensión 3: Ejecución

Pérez (2021), la ejecución esta consignada por la realización de trabajos previamente definidos. Se debe tomar en cuenta antes lo siguiente: el manual de gestión, procedimientos administrativos, la definición de la manera en que se debe ejecutar las actividades, la existencia de los instructivos (técnicos, funcionamiento y operación), el registro administrativo, registro de mantenimiento, registro de

planificación diaria, el historial de fallas, también se debe acordar los permisos de trabajo y fichas de las condiciones de trabajo.

Dimensión 4: Control

De acuerdo con Pérez (2021), en esta etapa se lleva a cabo la comprobación y confirmación del cumplimiento de los trabajos. Para López (2017) el control permite la retroalimentación y la optimización del diseño de los programas de mantenimiento preventivo con el objetivo de incrementar los niveles de eficiencia y eficacia (p. 45).

El control deberá llevarse a cabo sobre: los inventarios (repuestos, equipos maquinaria, componentes e instrumentos), cumplimiento del cronograma de mantenimiento, Selección de los equipos que son prioritarios para mantener, coordinar las tareas de MP con los trabajadores de la empresa o con la empresa contratista, llevar a cabo un contrato con empresas externas, validación del MP, anotar las actividades de mantenimiento, examinar las ya concluidas, verificar que los activos luego de su mantenimiento no afecten la seguridad del personal, de las instalaciones y del mismo equipo, verificar el impacto sobre el medio ambiente, llevar a cabo una retroalimentación (Pérez F. , 2021).

Disponibilidad

De acuerdo con la Asociación Española de Normalización (2018) se puede definir la disponibilidad como la capacidad de contar con un recurso de manera oportuna, dando por hecho que se cuenta con los medios externos.

Para Alavedra *et al.* (2016), “la disponibilidad de una máquina o sistema, nos da a conocer el período de funcionamiento de esa máquina o sistema respecto a la duración total durante el período en el que se desea que funcione” (p. 3).

Para Pérez (2021), la disponibilidad es “la probabilidad de que una máquina sea capaz de trabajar cada vez que se le requiera” (p. 39).

Cárcel (2016) por su parte define a la disponibilidad como el fin último del mantenimiento industrial, como el objetivo principal de la utilización óptima de los activos productivos. Para realizar dicho mantenimiento es necesario tomar en cuenta que:

- Se pretende lograr la mayor cantidad de disponibilidad de la planta en conjunto
- Debe lograrse al menor costo
- Incluir objetivos complementarios, como hacerlo en el menor tiempo posible, y lograr un acabado final de calidad alta (p. 68)

Existen diversas formas de medir la disponibilidad, sin embargo, las que tienen mayor importancia son aquellas que, pretenden medirla con fórmulas, de esta manera se estaría evitando las interpretaciones cualitativas de este término, que no le dan el valor tangible de lo que se quiere medir.

Se habla de una disponibilidad inherente cuando se refiere a la forma cuantitativa de la disponibilidad, esta es hallada mediante la fórmula que involucra al MTBF (Mean Time Between Failures) y al MTTR (Mean Time To Repair) que se miden cuantitativamente con horas, de esta manera se obtendría una disponibilidad hallada en porcentaje fácil de interpretar (Gaya Lazo, 2018, p. 471).

Se denomina una disponibilidad operacional al “porcentaje de tiempo que el equipo quedó a disponibilidad del área de operación para desempeñar su función en un periodo de análisis” (Fuenmayor, 2018, pág. 20). La disponibilidad operacional se calcula mediante la división de MTBM (Mean Time Between Maintenance) entre la suma de MTBM y M (Maintenance) con la finalidad de establecer el nivel de

desempeño de los equipos y el rendimiento de la gestión de mantenimiento (Fuenmayor, 2018).

El MTBF, el MTTR y el MTBM son indicadores de la gestión del mantenimiento. De acuerdo a Zegarra (2016), estos indicadores se definen: El MTBF o “Tiempo Medio Entre Fallas” hace referencia al tiempo promedio en el que la máquina continúa su labor sin mostrar algún tipo de falla ya sea causada por una mala práctica de los operarios, malas reparaciones anteriores, colocación de repuestos defectuosos o fallos de fábrica. El MTTR o “Tiempo Medio Para Reparar” muestra el tiempo promedio en el que demoran las actividades dedicadas a la reparación e intervención a los activos. Finalmente, el MTBM o “Tiempo Promedio entre Mantenimientos” significa la duración promedio de los periodos de funcionamiento entre una actividad de mantenimiento y otra similar.

Cárcel (2016) considera algunas estrategias para incrementar el nivel de disponibilidad desde el punto de vista del mantenimiento:

- Realizar un análisis de las necesidades y las capacidades técnicas de las máquinas o instalaciones de la planta a modo de establecer las condiciones de operación.
- Precisar las causas que obstaculizan el alcance del nivel estándar de disponibilidad.
- Formular actividades que se encaminen al incremento de la disponibilidad en los equipos y las instalaciones.
- Evaluar los recursos tecnológicos e instrumentos de detección, identificación y monitoreo del nivel de disponibilidad en los equipos.
- Verificar y controlar el desempeño de las tareas de mantenimiento con el fin de detectar las malas prácticas.
- Integrar el mantenimiento como parte de las actividades esenciales de producción y del sistema en general, dado que es lo que extiende la vida útil de los activos de la empresa y, en consecuencia, la disponibilidad para ser usados.

Dimensión 1: Mantenibilidad

Chávez, Jiménez & Cucuri (2020) definen la mantenibilidad como “la probabilidad de que el sistema sea reparado a condiciones normales de operación dentro de un

tiempo dado” (p. 252). Benítez, Díaz, Marrero, Romero, Villar, García & Tamayo (2019) sostienen que la mantenibilidad es “un elemento integrante de la confiabilidad operacional e indicador de la gestión de mantenimiento” (p. 115)

Dimensión 2: Confiabilidad

En el desarrollo del mantenimiento, se conceptualiza como la probabilidad de no falla del equipo o alguno de sus componentes en un tiempo determinado (Zegarra, 2016). La confiabilidad de una máquina o sistema, será proporcional a la aplicación efectiva del plan de mantenimiento y la elaboración adecuada para cumplir correctamente las especificaciones del sistema productivo (Zambrano, Prieto, & Castillo, 2015). De acuerdo con Laks & Verhagen (2018), para que se establezca un límite de fallas a la hora de planificar las actividades mantenimiento, es necesario definir la confiabilidad de los componentes. La actividad humana también posee mucha importancia, dado que se los errores humanos reducen la seguridad y es posible que causen daños o deterioros sobre la maquinaria, así mismo pueden reducir la confiabilidad del equipo (Emami-Mehrgani, Neumann, & Nadeau, 2016).

Proceso de lixiviación

La lixiviación es considerada un proceso hidrometalúrgico, en el cual, diversos minerales como el oro, plata, óxidos de cobre, se juntan en pilas llamadas pads. Las pilas de oro y cobre, son rociadas con soluciones de ácido sulfúrico para disolver el metal valioso y producir una solución que contiene el metal disuelto (MINEM, 2017). Por su parte, López & Pérez (2018), se refiere al procedimiento mediante el cual un compuesto o elemento son liberados de un estado sólido a un estado acuoso, es decir que un material se pone en contacto con un eluyente, para poder extraer ciertos componentes del material disuelto.

Bombas del proceso minero

La minera en estudio, al ser de tajo abierto, lleva a cabo procesos de lixiviación para la obtención del mineral, por ello es necesario un sistema de bombeo extenso, en el que participan en suma 170 bombas (de todo tipo de modelo) distribuidas en diferentes áreas.

El propósito de la mayoría de las bombas es enviar una solución química al PAD (Pirámide Escalonada de Mineral Chancado) de lixiviación, para que este arrastre a un pozo toda la solución que contenga el mineral puro y algunos otros elementos.

Del total de bombas que maneja la empresa, se tomaron en consideración 31 bombas que conforman la flota Gorman Rupp S8D1-275HP, estas bombas se caracterizan porque sus principales componentes permanecen sumergidos.



Figura 2. Bomba Gorman Rupp 275HP

Fuente: (The Gorman-Rupp Company, 2016)

Los datos técnicos de la bomba Gorman Rupp S8D1-275HP son detallados en la tabla 2.

Las bombas utilizadas en el sector minero, contribuyen en el proceso de lixiviación ya que, bombean soluciones acidas compuestas por químicos necesarios para la extracción del mineral, desde la zona de pozas hasta los PAD de lixiviación (The Gorman-Rupp Company, 2016)

Tabla 2. Datos técnicos de la bomba Gorman Rupp S8D1-275HP

Datos técnicos	
Tipo	Sumergible
Marca	Gorman Rupp
Modelo	S8D1-E275 460/3
Tipo de accionamiento	Motor eléctrico
Diámetro succ. (in)	8
Diámetro desc. (in)	8
Peso lb	4210 lb
Voltios	460/575 voltios
Amperios	353/282 amperios a carga completa
RPM	1750
Pot. (kW)	252 kW (máx.)
Pot. (Hp)	275 HP
L bomba (m)	50 pies (15 m) estándar
Temperatura máx. del líquido bombeado	50 °C
Características de la bomba:	
Difusor	Hierro dúctil
Carcasa	Hierro dúctil
Presión máx. De funcionamiento	390 psi
Impulsor	Tipo cerrado Huero dúctil
Cabeza de succión	Hierro gris 30
Cuatro anillos de desgaste	Aleación de cobre C83600
Carcasa del motor	Aleación de aluminio 356-T6
Placa de sello	Hierro gris 30
Eje del rotor	Acero inoxidable
Brida de descarga	Hierro gris 30
Colador	Acero de revestimiento de uretano 42% área abierta
Pernos de ojo de la elevación	Aberturas de 0,62" (15,8 mm) de diámetro Acero recubierto de uretano

Fuente: (The Gorman-Rupp Company, 2016)

Las partes de una bomba son:

- **Motor:** el modelo GORMAN RUPP posee un motor eléctrico, diseñado para ser operado por medio de la caja de control que se encuentra provista con la bomba. La caja de control se encarga de proporcionar protección en el caso de sobrecargas y control de potencia. No se debe conectar el motor directamente en las líneas de electricidad entrantes. El motor como el cable de la bomba deberán de ser impermeables.
- **Impulsor:** es el componente de rotación antihorario. Debe verificarse dicha rotación, dado que esto puede afectar la normal funcionalidad de una bomba y puede ocasionar daños a la misma. El impulsor puede obstruirse con desechos. Si sufre algún daño, deberá ser reemplazado.

- Carcasa: consta de una aleación de aluminio
- Conjunto de eje y rodamiento: El primero transfiere el movimiento de rotación desde el motor al impulsor. Los rodamientos del eje evitan el desplazamiento a otras direcciones y minimiza las vibraciones.
- Manga del eje: se encarga de la protección del eje.
- Sellos de la bomba: El sello inferior: evita que el líquido ingrese a la cavidad intermedia en el extremo del impulsor. El sello superior: no permite filtraciones de aceite de la cavidad de la carcasa del motor y actúa como protección de respaldo en caso de falla del sello inferior.
- Placas de desgaste superior e inferior: Se encuentran ubicadas en el impulsor.
- Colador o filtro de succión: es un filtro que no permite que las partículas de gran tamaño queden atoradas en la zona del impulsor.
- Agitador: Posibilita que la bomba pueda recoger sedimentos, colocando a los sólidos en suspensión.

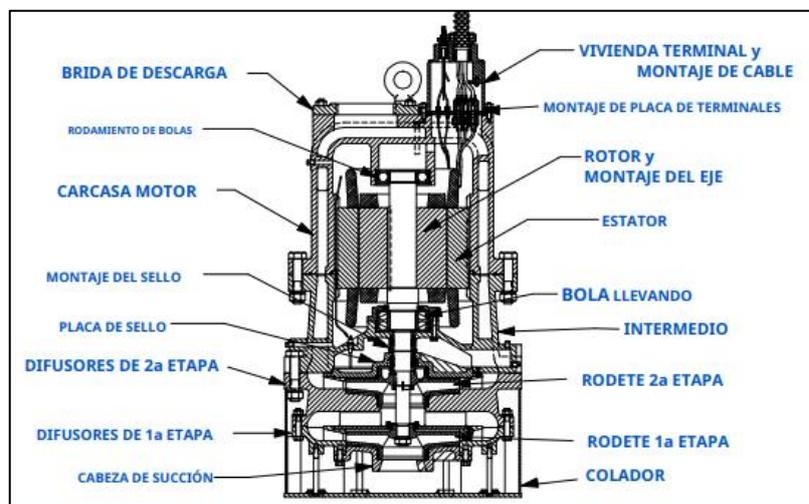


Figura 3. Partes de la bomba GORMAN RUPP

Fuente: (The Gorman-Rupp Company, 2016)

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño de la investigación

Tipo de investigación:

De acuerdo con Baena (2017), la investigación aplicada tiene el propósito de aportar nuevas hechas, concentrando sus esfuerzos para llevar a la práctica todo lo teórico a modo de resolver los problemas planteados (p. 18).

Es aplicada, ya que se emplearon conocimientos que se han ido adquiriendo sobre una problemática encontrada en una unidad de trabajo que se desenvuelve en el sector minero.

Nivel:

Según Sánchez, Reyes & Mejía (2018), los alcances de una investigación se denominan al nivel de logro que el investigador plantea “alcanzar”. Los estudios pueden tener un alcance exploratorio, descriptivo, explicativo o correlacional (p. 16).

Se considera en primer lugar un estudio descriptivo, ya que, para analizar y conocer la situación anterior a la propuesta de mejora y después de ella, se detallan las variables a través de sus indicadores, de acuerdo al momento en que suceden.

Se considera también una investigación explicativa porque el objetivo principal es reconocer si hay relación significativa entre las variables estudiadas a partir de un análisis de comparación de los promedios antes y después del plan.

Enfoque:

Según Sánchez, Reyes & Mejía (2018), un estudio con enfoque cuantitativo recolecta y analiza información a través la medición numérica con el objetivo de probar la hipótesis (p. 59).

En tanto, esta investigación tuvo un enfoque cuantitativo ya que, es parte de un planteamiento de hipótesis que serán contrastadas con la evaluación de los resultados de la investigación, en este caso, se recopila datos de las variables de forma cuantitativa mediante indicadores planteados. Las variables, plan de mantenimiento y confiabilidad son evaluadas con estadística descriptiva e inferencial, de modo que se puedan validar o rechazar la hipótesis general y específicas planteadas al inicio.

Diseño de investigación:

El diseño de un estudio se denomina a un modelo que cumpliría el investigador con el fin de determinar un mayor control de las variables (Sánchez, Reyes, & Mejía, 2018). Las investigaciones de diseño pre experimental son un “tipo de diseño de investigación experimental que presenta un control mínimo de variables y fuentes de validez” (Sánchez, Reyes, & Mejía, 2018, pág. 55).

Entonces, esta investigación tuvo un diseño preexperimental, ya que, existió una situación real sobre la que se trabajó, la situación real fue la disponibilidad de las bombas y el plan de mantenimiento que se utilizaba. En este caso, se presenta un diseño de preprueba y posprueba sobre un mismo grupo, es decir, se toma un grupo que se diagnostica antes de aplicar un estímulo; luego, se lleva a cabo la implementación del plan y posteriormente se evalúa los resultados a través de la prueba.

3.2. Variables y operacionalización

Se presenta la descripción de las variables e indicadores y en el anexo 2 se detalla la matriz de operacionalización de las variables.

Variable independiente: Plan de mantenimiento preventivo

López (2017) define mantenimiento como el grupo de acciones que buscan preservar la funcionalidad de los activos reparados y, en consecuencia, no afectar los procesos y el personal con los que están vinculados y mantener el nivel de eficiencia y eficacia. Para IntegraMarkets (2018) el mantenimiento busca la conservación de las condiciones óptimas de maquinaria, equipos e instalaciones a modo de asegurar el buen funcionamiento del proceso de producción (p. 4).

Piqueras & Fernández-Crehuet (2020) definen al Mantenimiento Preventivo como el conglomerado de actividades programadas (inspecciones o reparaciones), que se ejecutan para reducir las consecuencias de los daños o averías producidas en los equipos (p. 1).

El mantenimiento preventivo tiene por objetivo, organizar las actividades de prevención de fallas; se enfoca en la programación de tareas y asignación de recursos (IntegraMarkets Escuela de Gestión Empresarial, 2018). Para Nilda Tri Putria *et al.* (2020) la finalidad del mantenimiento preventivo será calcular el intervalo de tiempo óptimo para las actividades de mantenimiento, permitiendo

como consecuencia que la confiabilidad de los equipos o máquinas en las operaciones puedan mantenerse y que puedan funcionar correctamente antes del próximo mantenimiento programado (p. 682).

El plan de mantenimiento esta conformado por actividades planificadas, cuantificadas y cotizadas que se plantean implementar sobre las bombas sumergibles Gorman Rupp con la intención de elevar los días operativos de estas.

Dimensión 1: Planificación

Pérez (2021), señala que la planificación son las tareas por desarrollar, el grupo a cargo de realizar los trabajos, los equipos y herramientas a emplear, el tiempo aproximado para culminar una labor (p. 40).

$$\text{Nivel de mantenimientos} = \frac{N^{\circ} \text{ de acciones correctivas.}}{N^{\circ} \text{ de acciones preventivas}}$$

Dimensión 2: Programación

Pérez (2021) hace referencia a un cronograma de actividades, que se diseña en función a la planificación de MP, en este cronograma se van a definir las siguientes características: hora, fecha, extensión de la tarea y lugar (p. 44). Es posible establecer un cronograma de corto, mediano o largo plazo.

$$\% \text{ de cumpli de horas de mantenimiento} = \frac{\text{Horas del Mantenimiento Ejecutadas.}}{\text{Horas de Mantenimiento Programadas}} * 100$$

Dimensión 3: Ejecución

Para Pérez (2021), esta etapa se relaciona con la realización de las actividades de mantenimiento, previamente definidas (p. 40). La ejecución del mantenimiento revisará varios factores, como son (p. 45):

- el manual de gestión.
- La existencia de procedimientos administrativos.
- Que se encuentren definidas los procedimientos de las actividades de mantenimiento.
- La existencia de un instructivo técnico y de operaciones.
- Que se encuentren elaboradas las órdenes de trabajo, etc.
- Contar con los registros.

$$\text{Nivel de mantenimiento preventivo} = \frac{N^{\circ} \text{ de acciones correctivas.}}{N^{\circ} \text{ de acciones preventivas}}$$

Dimensión 4: Control

De acuerdo a Pérez (2021), se refiere a la verificación y validación de las actividades de mantenimiento concretadas (p. 40). El control debe revisar lo siguiente: las existencias (repuestos, equipos maquinaria, componentes e instrumentos), obediencia al cronograma de mantenimiento, Selección de los equipos que son prioritarios para mantener, coordinar las tareas de MP con el personal de la empresa o con la empresa contratista, llevar a cabo un contrato con empresas externas, validación del MP, registrar las tareas de mantenimiento, analizar las tareas concretadas, verificar que los activos luego de su mantenimiento no vulneren la integridad de los trabajadores, de las instalaciones y del mismo equipo, tomar en cuenta los daños colaterales en el medio ambiente, y realizar una retroalimentación (Pérez F. , 2021).

$$Control = \frac{Actividades\ realizadas}{Actividades\ programadas} \times 100$$

Variable dependiente: Disponibilidad

Para Cárcel (2016), desde el contexto de mantenimiento, la disponibilidad es el fin primordial de un plan de mantenimiento que se realiza a un conjunto, planta o maquinaria, teniendo en cuenta ciertos factores como determinantes y limitantes, ellos son el costo, el tiempo y las capacidades de las personas (p. 68)

Dentro de la disponibilidad se encuentran dos factores el tiempo promedio entre fallas (TPEF) y el tiempo medio de reparación (TMR) y se calcula como la proporción del primero sobre la suma de ambos (Prager, 2018, p. 260)

$$\% \text{ de disponibilidad} = \frac{TPEF}{TPEF + TMR}$$

Dimensión 1: Confiabilidad

La confiabilidad de un equipo o sistema es el producto del mantenimiento aplicado sobre estos y en su mayoría a la función que tienen como diseño. Por lo tanto, se puede exhibir una conexión directa entre estos enunciados, mientras el equipo o sistema tenga un buen mantenimiento y diseño tendrá mayor confiabilidad (Zambrano *et al*, 2015, p. 500).

Para Rusin & Baryshev (2019), es necesario recopilar y ordenar la información estadística de los equipos, sus tiempos de operatividad y sus periodos de reparación, para determinar su confiabilidad (p. 1801). De acuerdo con Tri &

Mercado (2020), las tareas de mantenimiento tienen consecuencias directas sobre la confiabilidad de los equipos; debido a ello es importante asignar y enfocar los recursos de forma eficiente y efectiva, mejorando cada acción de mantenimiento que se realice.

Para medir matemáticamente la confiabilidad de un equipo hay varias fórmulas elaboradas por la comunidad científica, la que se utilizará es la siguiente descrita por Zambrano *et al.* (2015), que consiste en la medición de promedio entre fallas (TPEF)

$$TPEF = \frac{\text{Horas totales en servicio}}{\text{Cantidad de fallas reportadas}}$$

Dimensión 2: Mantenibilidad

Se le considera como la expectativa sobre el tiempo en que demoraría un equipo o sistema para ponerse en funcionamiento nuevamente después de una falla sucedida.

Fuenmayor (2018) señala que la mantenibilidad mide los tiempos de paro de actividades por falla y de paro por tareas de mantenimiento, así como también el tiempo necesario para lograr la restauración de las condiciones normales y funcionales de una determinada máquina y/o equipo. Esto dependerá mucho de las aptitudes del equipo de mantenimiento que realice las acciones de reparación, el instrumento que se tenga para realizarla y la seriedad de la falla.

Se puede notar en la siguiente ecuación que el tiempo medio de reparación (TMR) se mide a través de las horas de mantenimiento correctivo y la cantidad de fallas, asimismo este indicador muchas veces utilizado para medir la mantenibilidad como Fernandez y Shkiliova (2015, p.41) y Sierra *et al.* (2013, p. 34), guarda relación directa con la variable disponibilidad presentada más arriba y con la que se hará uso para el presente estudio.

$$TMR = \frac{\text{Horas de mantenimiento}}{\text{Cantidad de fallas}}$$

Por lo general de los casos el tiempo promedio de reparación de los equipos es en función de la accesibilidad para brindarle mantenimiento a la máquina, así como

del conocimiento de quien brinda la reparación y en especial del plan de mantenimiento que la organización le haya dado a la máquina (Prager, 2018, p. 260)

3.3. Población, muestra, muestreo, unidad de análisis

Población: Para Sánchez, Reyes & Mejía (2018), la población es “el conjunto formado por todos los elementos que posee una serie de características comunes” (p. 102).

El conjunto del que se habla sobre el que se realiza el estudio, son la totalidad de tareas de mantenimiento y funcionamiento de las 31 bombas sumergibles Gorman Rupp que son empleadas en la poza de lodos de una minera procesadora de cobre.

- **Criterios de inclusión:** Sólo se tomaron en cuenta las bombas sumergibles Gorman Rupp que se emplean en las pozas de lodos.
- **Criterios de exclusión:** Se excluye aquellos equipos que no participan en las pozas de lodos y que no cumplen con las características de las bombas sumergibles Gorman Rupp.

Muestra: Es un “conjunto de casos o individuos extraídos de una población por algún sistema de muestreo probabilístico o no probabilístico” (Sánchez, Reyes, & Mejía, 2018, pág. 93).

Para la investigación se tomara los elementos de la población como muestra, consignando que son 31, un número manejable para esta investigación.

Muestreo: El muestreo no probabilístico es un “muestreo que se basa en el criterio del investigador, ya que las unidades del muestreo no se seleccionan por procedimientos al azar, siendo intencionado, normal o circunstancial” (Sánchez, Reyes, & Mejía, 2018, pág. 94).

Entonces el muestreo que se realiza es no probabilístico e intencionado, ya que se manejó información de toda la población, 6 semanas antes y 6 semanas después de la implementación de las mejoras. El tipo de muestreo será no probabilístico, dado que en este subgrupo de la población que se toma, la decisión de los elementos no están sujetos a la probabilidad, sino a las cualidades de la investigación.

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Se considera favorable a las fichas técnicas como instrumento de recolección de datos que se presentan en los anexos, para el levantamiento de la información acerca de la variable dependiente Plan de mantenimiento, se recoge mediante la ficha de datos que ordena la información acerca de las dimensiones sobre la planificación, programación, ejecución y control (anexo 3). Asimismo, para la recopilación de información respecto a la variable disponibilidad, se recurre a las fichas técnicas que hacen posible la sustracción ordenada de la información acerca de la variable disponibilidad mediante indicadores de confiabilidad y mantenibilidad (anexo 4).

La **confiabilidad** es definida por Cohen & Gómez (2019), como la confianza que se le puede otorgar a los datos generados por el estudio (p. 38). En esta investigación, los instrumentos se fundamentaron en que la información recolectada por las fichas técnicas aplicadas a cada variable es de la entidad en estudio, lo que respalda la fiabilidad de la información.

La **validez** hace referencia al grado en que un instrumento o técnica presenta utilidad para medir con efectividad lo que se estaba mesurando (Sánchez, Reyes, & Mejía, 2018). En este caso la validez de los instrumentos se llevó a cabo mediante juicio de expertos, se recurre a tres especialistas en ingeniería industrial, para que puedan validar los instrumentos de recolección de datos para las dos variables, cuyas validaciones se encuentran en el anexo 5.

3.5. Procedimientos

Para el desarrollo de la intervención sobre la variable independiente Plan de mantenimiento preventivo, se hizo un análisis del problema con ayuda de un diagrama de Ishikawa colocando como principal problema la baja disponibilidad de las bombas sumergibles Gorman Rupp.

De acuerdo a las fallas críticas encontradas en el historial de mantenimientos correctivos de las bombas GORMAN RUPP S8D1-275HP, se prefirió por elaborar un plan de mantenimiento preventivo.

Las bombas se ven afectadas por ciertos fenómenos, como son:

- Golpe de ariete

- Cavitación
- Vibraciones
- Ruido
- Sumergencia

En la situación inicial, se sabe que la empresa lleva a efecto un Plan de Mantenimiento de sus equipos, sin embargo, las actividades no cubren todas las fallas o mantenimientos que requieren los equipos. Los cuales son:

- Limpieza del equipo.
- Inspección de los anillos.
- Verificación de ajustes pernearías.
- Limpieza del filtro.

3.5.1. FMEA

Se llevó a cabo un análisis de las fallas encontradas con el FMEA (Análisis de modos de fallas y Efectos), la tabla a continuación muestra los componentes, sus funciones, fallas funcionales y modos de falla, que se han encontrado.

Tabla 3. Hoja de descripción de fallas

Componente	Funciones	Falla funcional	Modos de falla	Efectos
Motor	Diseñada para operar a través de la caja de control provista con la bomba	No hay voltaje	Falla en el voltaje del disyuntor	No hay voltaje en el lado de la línea del disyuntor
		Bobinas defectuosas	Falla en las bobinas	Aislamiento defectuoso en las bobinas del motor o en el cable de alimentación
Impulsor	Transporta la fuerza centrífuga hacia la suspensión. Esta gira en sentido antihorario	Bomba funcionando al revés	Falla en el sentido del impulsor	La dirección del impulsor es en sentido horario
		Paletas del impulsor gastadas	Falla por desgaste de paletas del impulsor	Holgura excesiva del impulsor
		Obstrucción	Falla por obstrucción del impulsor	Obstrucción del impulsor con desechos
		Daños por grietas, alabes rotos o desgaste por erosión	Falla en el impulsor por deterioro	Deterioro del impulsor
Conjunto de eje del rotor y rodamiento	El eje transfiere el movimiento de rotación desde el motor al impulsor. Los rodamientos del eje evitan el desplazamiento a otras direcciones y minimiza las vibraciones	Congelamiento de la carcasa	Falla por congelamiento del rodamiento	Rodamientos congelados
		El eje está doblado o dañado	Falla en el eje del rotor	Provoca un exceso de ruidos y vibraciones
		Eje o cojines defectuosos	Falla en el eje o cojines	Provoca un exceso de ruidos y vibraciones
Sellos de la bomba	El sello inferior: evita que el líquido ingrese a la cavidad intermedia en el extremo del impulsor. El sello superior:	Funcionamiento incorrecto de los sellos	Falla por funcionamiento incorrecto en los sellos de la bomba	Desgaste de los sellos

	evita fugas de aceite de la cavidad de la carcasa del motor y actúa como protección de respaldo en caso de falla del sello inferior.	Daños por desgaste, rayaduras o ranuras	Falla por desgaste en los sellos de la bomba	Desgaste de los sellos
Línea de descarga	Permite que una bomba alimente a otra en aplicaciones de alta descarga	Cabeza de descarga demasiado alta	Falla en la cabeza de descarga	El motor funciona, pero la bomba falla para la entrega de la solución
		Línea de descarga obstruida o restringida, manguera torcida	Falla de la línea de descarga	El motor funciona, pero la bomba falla para la entrega de la solución
		Válvula de estrangulamiento de descarga parcialmente cerrada	Falla en la válvula de estrangulamiento de descarga	El motor funciona, pero la bomba falla para la entrega de la solución
		Válvula de retención instalada incorrectamente	Falla en la válvula de retención	El motor funciona, pero la bomba falla para la entrega de la solución
Filtro de succión	Evita que los sólidos grandes obstruyan el impulsor	El líquido se bombea demasiado espeso	Obstrucción de la rejilla	Obstrucción del filtro de succión con desechos
Caja de control	Proporciona una protección contra sobrecargas y control de potencia	Sobrecalentamiento de la bomba	No se proporciona una sobrecarga o protección térmica	Se produce un sobrecalentamiento de la bomba
		Disminución del voltaje	Falla en el voltaje de la caja de control	Voltaje bajo e incorrecto
Sumidero	Es una cámara empleada para el almacenamiento de líquido, el cual se conecta con una tubería de succión a la bomba	Líquido insuficiente en el sumidero o tanque	Falla en los niveles de líquido del sumidero	El motor funciona, pero la bomba falla para la entrega de la solución
		Bombeo de aire arrastrado	Falla en los niveles de líquido	Funcionamiento de la bomba con exceso de ruido y vibraciones

Fuente: Manual de Bombas Gorman Rupp 275

3.5.2. Análisis de criticidad

El análisis de criticidad permite establecer los niveles jerárquicos para cada conjunto de equipos, proceso que se realiza de acuerdo al impacto global que tengan, lo que ayudará con la toma de decisiones. Dicha herramienta permite establecer un orden de prioridades de acuerdo a la siguiente matriz

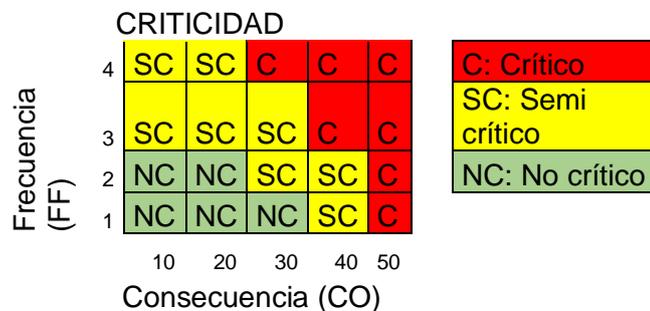


Figura 4. Matriz de criticidad

Fuente: Elaboración propia

Para la matriz, se considera los criterios especificados en la tabla 4 para su evaluación:

Tabla 4. Criterios para valorizar la criticidad de las fallas

Criticidad total = Frecuencia de fallas x Consecuencia Consecuencia = ((Impacto Operacional x Flexibilidad) * Costo Mtto. + Impacto SAS)			
Frecuencia de Fallas		Costo de Mantenimiento	
Mayor a 6 fallas/semanales	4	mayor a S/2000.00	2
Promedio 4 a 5 fallas/semanales	3	Inferior a S/2000.00	1
Buena 2 a 3 fallas/semanales	2	Impacto en SAS	
Excelentes menores de 1 falla/semanal	1	Riesgo alto de pérdida de la vida, daños graves a la salud	8
Impacto Operacional		Riesgo medio de la vida, daños importantes a la salud e incidente ambiental mayor	6
Parada inmediata del equipo	10	Riesgo mínimo de pérdida de la vida y afección a la salud e incidente ambiental menor	3
Repercusión en costos operacionales	8		
Impacto en niveles de producción o calidad	4		
No tiene efecto significativo en la operación y producción	1	No existe ningún riesgo de pérdida de vida, ni afección a la salud, ni daños al ambiente	1
Flexibilidad Operacional			
No existe opción de producción y no hay forma de recuperarlo	4		
No existen equipos que reemplacen al equipo fuera de funcionamiento	2		
No se cuenta con unidades de reserva	1		

Fuente: Elaboración propia

Seguidamente se detalla la aplicación de los criterios:

Tabla 5. Evaluación de criticidad de los modos de falla

Evaluación de la criticidad en la flota de bombas GORMAN RUPP 275HP								
	Frecuencia	Impacto Operacional	Flexibilidad	Costos de Mtto.	Impacto de seguridad	Impacto ambiental	Consecuencias/total	Jerarquización
Falla en el voltaje del disyuntor	4	10	4	2	8	3	31	C
Falla en las bobinas	4	10	4	1	6	6	31	C
Falla en el sentido del impulsor	4	10	4	2	6	6	32	C
Falla por desgaste de paletas del impulsor	3	8	4	2	6	3	26	SC
Falla por obstrucción del impulsor	4	8	4	2	1	3	22	SC
Falla en el impulsor por deterioro	4	8	4	1	1	6	24	SC

Evaluación de la criticidad en la flota de bombas GORMAN RUPP 275HP								
	Frecuencia	Impacto Operacional	Flexibilidad	Costos de Mtto.	Impacto de seguridad	Impacto ambiental	Consecuencias/total	Jerarquización
Falla por congelamiento del rodamiento	3	4	4	2	6	3	22	SC
Falla en el eje del rotor	4	8	4	1	6	3	26	SC
Falla en el eje o cojines	4	8	4	2	6	3	27	SC
Falla por funcionamiento incorrecto en los sellos de la bomba	4	8	4	2	6	6	30	C
Falla por desgaste en los sellos de la bomba	4	8	4	1	6	6	29	SC
Falla en la cabeza de descarga	4	8	4	2	8	6	32	C
Falla de la línea de descarga	4	8	4	2	8	6	32	C
Falla en la válvula de estrangulamiento de descarga	4	8	4	2	8	6	32	C
Falla en la válvula de retención	3	4	4	2	6	3	22	SC
Obstrucción de la rejilla	4	8	4	1	1	3	21	SC
No se proporciona una sobrecarga o protección térmica	4	10	4	2	8	3	31	C
Falla en el voltaje de la caja de control	4	10	4	2	8	3	31	C
Falla en los niveles de líquido del sumidero	4	4	4	2	3	3	20	SC
Falla en los niveles de líquido	3	4	4	2	3	1	17	SC

Fuente: elaboración propia.

3.5.3. Hoja de decisión

En la tabla a continuación, se presenta la hoja de decisión en la que se llevó a cabo el análisis del conjunto de fallas encontradas anteriormente con el FMEA teniendo en cuenta su criticidad.

Tabla 6. Hoja de decisión– Bomba Gorman Rupp

				Hoja de decisión		Máquina:										Bomba GORMAN RUPP_275HP	Fecha:	Hoja N°				
						Componente:												1				
						Facilitador												De: 1				
				Referencia de información		Evaluación de las consecuencias				H1			H2			H3			Acción a falta de:	Tarea propuesta	Intervalo inicial	A realizars e por:
						F	FF	FM	H	S	E	O	N1	N2	N3	H4	H5	S4				
Motor	1. Diseñada para operar a través de la caja de control provista con la bomba	A	No hay voltaje	1	Falla en el voltaje del disyuntor	1	A	1	S	S	N	S	S							Verificar la fuente de energía, que no posea fusibles quemados, disyuntor abierto, cables rotos o conexiones sueltas.	30 min	Técnico Eléctrico
		B	Bobinas defectuosas	2	Falla en las bobinas	1	B	2	S	S	N	S	S							Verificar la resistencia del aislamiento, comprobar la continuidad	30 min	Técnico Eléctrico
Impulsor	2. Transporta la fuerza centrífuga hacia la suspensión. Esta gira en sentido antihorario	C	Bomba funcionando al revés	3	Falla en el sentido del impulsor	2	C	3	N	S	S	S	S						Verificar el dispositivo de elevación instalado en la bomba. Aplique energía brevemente y observe la dirección del contragolpe de la bomba. Visto desde arriba, la bomba debe activarse en sentido antihorario dirección; esto indicará que la rotación del impulsor es correcta.	2 horas	Técnico Eléctrico	

				Hoja de decisión		Máquina:										Bomba GORMAN RUPP_275HP		Fecha:	Hoja N°							
						Componente:													1							
						Facilitador													De: 1							
				Referencia de información			Evaluación de las consecuencias				H1			H2			H3			Acción a falta de:			Tarea propuesta		Intervalo inicial	A realizars e por:
				F	FF	FM	H	S	E	O	N1	N2	N3	H4	H5	S4										
				D	Paletas del impulsor gastadas	4	Falla por desgaste de paletas del impulsor	2	D	4	N						S			Verificar el impulsor y la holgura		1 hora y 30 min	Técnico Eléctrico			
				E	Obstrucción	5	Falla por obstrucción del impulsor	2	E	5	S	S	N	S	S					Detener la bomba para hacer retroceder el bloqueo. Si el retro lavado no elimina los desechos, retirar la bomba del sumidero, mojarla bien y realizar una limpieza manual		30 min	Técnico Eléctrico			
				F	Daños por grietas, alabes rotos o desgaste por erosión	6	Falla en el impulsor por deterior	2	F	6	N	S	N	S	S					Inspeccione el difusor y cámbielo si está defectuoso		30 min	Técnico Eléctrico			
Conjunto de eje del rotor y rodamiento				G	Congelamiento de la carcasa	7	Falla por congelamiento del rodamiento	3	G	7	S	S	N	S	S					Desmotar la bomba y comprobar los cojines		2 horas y 30 min	Técnico Eléctrico			
				H	El eje está doblado o dañado	8	Falla en el eje del rotor	3	H	8	S	S	N	S	S					Reemplazar el rotor y el eje de forma conjunta.		1 horas y 30 min	Técnico Eléctrico			
				I	Eje o cojines defectuosos	9	Falla en el eje o cojines	3	I	9	N				S	S					Desarmar la bomba y revisar el motor o cojines		2 horas	Técnico Eléctrico		

				Hoja de decisión		Máquina:										Bomba GORMAN RUPP_275HP		Fecha:	Hoja N°								
						Componente:													1								
						Facilitador													De: 1								
				Referencia de información			Evaluación de las consecuencias				H1			H2			H3			Acción a falta de:			Tarea propuesta		Intervalo inicial	A realizars e por:	
				F			FF			FM			H	S	E	O	N1	N2	N3	H4	H5	S4					
Sellos de la bomba	4.El sello inferior: evita que el líquido ingrese a la cavidad intermedia en el extremo del impulsor. El sello superior: evita fugas de aceite de la cavidad de la carcasa del motor y actúa como protección de respaldo en caso de falla del sello inferior.	J	Funcionamiento incorrecto de los sellos	10	Falla en los sellos de la bomba	4	J	10	N	S	S	N	S												Verificar el estado del aceite drenado, si es transparente, indica un correcto funcionamiento. Si es lechoso o contiene cantidades pequeñas de agua, debe ser cambiado	30 min	Técnico Eléctrico
		K	Daños por desgaste, rayaduras o ranuras	11	Falla en los sellos de la bomba	4	K	11	N	S	S	N	S												Verificar los componentes del sello. Si se encuentra algún tipo de daño o desgaste, la pieza deberá de ser reemplazada	1 horas	Técnico Eléctrico
Línea de descarga	5.Permite que una bomba alimente a otra en aplicaciones de alta descarga	L	Cabeza de descarga demasiada alta	12	Falla en la cabeza de descarga	5	L	12	N	S	N	S	S											Reduzca la altura de descarga o instalar un adaptador escalonado y una bomba adicional	45 min	Técnico Eléctrico	
		M	Línea de descarga obstruida o restringida, manguera torcida	13	Falla de la línea de descarga	5	M	13	N	S	N	S	S												Revisar la línea de descarga. Enderezar la manguera	45 min	Técnico Eléctrico
		N	Válvula de estrangulamiento de descarga parcialmente cerrada	14	Falla en la válvula de estrangulamiento de descarga	5	N	14	N	S	N	S	S												Revisar la Válvula y si presenta fallas, abrir la válvula de descarga de forma completa.	1 horas	Técnico Eléctrico

				Hoja de decisión		Máquina:										Fecha:	Hoja N°								
						Componente:											1								
						Facilitador											De: 1								
				Referencia de información		Evaluación de las consecuencias				H1			H2			H3			Acción a falta de:			Tarea propuesta	Intervalo inicial	A realizars e por:	
						F	FF	FM	H	S	E	O	N1	N2	N3	H4	H5	S4							
		O	Válvula de retención instalada incorrectamente	15	Falla en la válvula de retención	5	O	15	N	S	N	S	S									Verificar la instalación de la tubería	30 min	Técnico Eléctrico	
Filtro de succión	6. Evita que los sólidos grandes obstruyan el impulsor	P	El líquido se bombea demasiado espeso	16	Obstrucción de la rejilla	6	P	16	S	N	N	S	S									Inspeccionar el filtro de succión y verificar que esté libre de obstrucciones	15 min	Técnico Eléctrico	
Caja de control	7. Proporciona una protección contra sobrecargas y control de potencia	Q	Sobrecalentamiento de la bomba	17	No se proporciona una sobrecarga o protección térmica	7	Q	17	S	S	N	S	S									Detener la bomba y bloquear la alimentación del panel de control para asegurar que la bomba no esté en funcionamiento.	45 min	Técnico Eléctrico	
		R	Disminución del voltaje	18	Falla en el voltaje de la caja de control	7	R	18	N	S	N	S	S										Medir el voltaje de la caja, cuando esté prendida y apagada.	30 min	Técnico Eléctrico
Sumidero	8. Es una cámara empleada para el almacenamiento de líquido, el cual se conecta con una tubería de succión a la bomba	S	Líquido insuficiente en el sumidero o tanque	19	Falla en los niveles de líquido del sumidero	8	S	19	N	N	N	S	S									Detener la bomba hasta que suba los niveles de líquido	30 min	Técnico Eléctrico	
		T	Bombeo de aire arrastrado	20	Falla en los niveles de líquido	8	T	20	N	N	N	S	S										Verificar el nivel de líquido en el sumidero. Comprobar la posición de la bomba y los dispositivos sensores de nivel de líquido.	30 min	Técnico Eléctrico

Fuente: elaboración propia

3.5.4. Plan de mantenimiento

El presente plan de mantenimiento, tiene por finalidad mejorar la disponibilidad de las bombas y reducir las pérdidas económicas producto del paro de los equipos. A continuación, se presentan las actividades de mantenimiento, personal encargado, implementos y los tiempos para reparar.

Actividades o tareas propuestas:

Para la designación de las tareas propuestas se tomaron en cuenta la opinión de los expertos (operarios y técnicos) los cuales trabajan directamente con el equipo y conocen a detalle las características y problemas del equipo.

Recursos Humanos:

El personal encargado de supervisar y ejecutar las tareas de mantenimiento se encuentra conformado por los siguientes:

- Jefe de mantenimiento;
- Supervisor de mantenimiento;
- Electricista;
- Mecánico;
- Personal de apoyo.

A continuación, se presenta la propuesta de distribución del personal del área de mantenimiento.

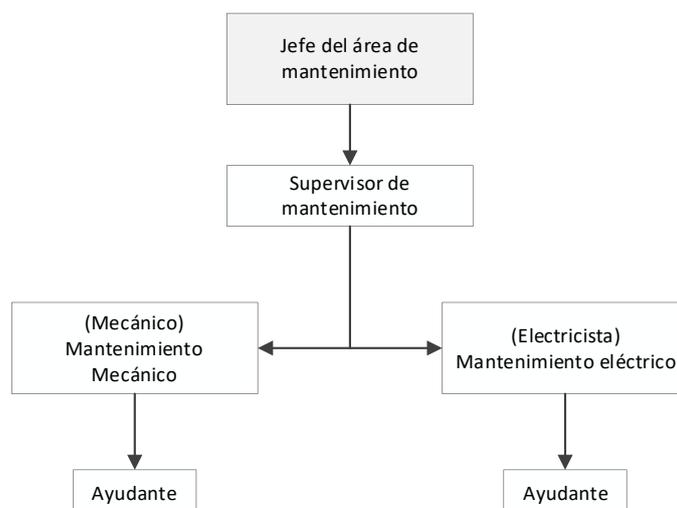


Figura 5. Distribución de personal

Fuente: Elaboración propia.

Horarios de mantenimiento:

El periodo de trabajo de las Bombas es de 20 horas por día. Se establece que los mantenimientos programados se lleven a cabo en el transcurso del día. Sólo se podrán realizar mantenimientos programados en horas de la noche en caso de emergencias. Las reparaciones que se lleven a cabo en el turno noche deberán ser notificadas al personal del siguiente turno.

Asimismo, el tiempo de mantenimiento y la periodicidad fue de acuerdo a la opinión de los técnicos y personal de mantenimiento, dado que ellos son en primera línea, los más cercanos al equipo.

En base a la hoja de decisión se muestra el plan de mantenimiento de las bombas Gorman Rupp. Para su implementación se requiere que el personal sea capacitado y que las zonas para el mantenimiento sean las más óptimas.

Tabla 7. Mantenimiento preventivo

Mantenimiento preventivo para la Bomba Gorman RUPP 275HP						
Componente	Tarea propuesta	Trabajo a realizar	Periodo	Personal	Tiempo aproximado	Condición de la máquina
Motor	Verificar la fuente de energía, que no posea fusibles quemados, disyuntor abierto, cables rotos o conexiones sueltas.	Verificar	Una vez por semana	Técnico Eléctrico	30 min	Máquina parada
	Verificar la resistencia del aislamiento, comprobar la continuidad	Verificar	Una vez por semana	Técnico Eléctrico	30 min	Máquina parada
Impulsor	Verificar el dispositivo de elevación instalado en la bomba. Aplique energía brevemente y observe la dirección del contragolpe de la bomba. Visto desde arriba, la bomba debe activarse en sentido antihorario dirección; esto indicará que la rotación del impulsor es correcta.	Verificar	Cada 3 semanas	Técnico Eléctrico	2 horas	Máquina parada
	Verificar el impulsor y la holgura	Verificar	Mensual	Técnico Eléctrico	1 hora y 30 min	Máquina parada
	Detener la bomba para hacer retroceder el bloqueo. Si el retro lavado no elimina los desechos, retirar la bomba del sumidero, mojarla bien y realizar una limpieza manual	Verificar	Cada 2 semanas	Técnico Eléctrico	30 min	Máquina parada
	Inspeccione el difusor y cámbielo si está defectuoso	Inspeccionar	Cada 3 semanas	Mecánico	30 min	Máquina parada
Conjunto de eje del rotor y rodamiento	Desmotar la bomba y comprobar los cojines	Mantenimiento	Mensual	Mecánico	2 horas y 30 min	Máquina parada
	Reemplazar el rotor y el eje de forma conjunta.	Cambiar	Mensual	Mecánico	1 hora y 30 min	Máquina parada
	Desarmar la bomba y revisar el motor o cojines	Inspeccionar	Cada 3 semanas	Mecánico	2 horas	Máquina parada
Sellos de la bomba	Verificar el estado del aceite drenado, si es transparente, indica un correcto funcionamiento. Si es lechoso o contiene cantidades pequeñas de agua, debe ser cambiado	Verificar	Una vez por semana	Mecánico	30 min	Máquina parada
	Verificar los componentes del sello. Si se encuentra algún tipo de daño o desgaste, la pieza deberá de ser reemplazada	Verificar y Cambio	Cada 3 semanas	Mecánico	1 horas	Máquina parada
Línea de descarga	Reduzca la altura de descarga o instalar un adaptador escalonado y una bomba adicional	Modificación	Cada 2 semanas	Técnico Eléctrico	45 min	Máquina parada

	Revisar la línea de descarga. Enderezar la manguera	Medición	Mensual	Técnico Eléctrico	45 min	Máquina parada
	Revisar la Válvula y si presenta fallas, abrir la válvula de descarga de forma completa.	Verificar y reparar	Cada 3 semanas	Técnico Eléctrico	1 horas	Máquina parada
	Verificar la instalación de la tubería	Verificar	Cada 3 semanas	Técnico Eléctrico	30 min	Máquina parada
Filtro de succión	Inspeccionar el filtro de succión y verificar que esté libre de obstrucciones	Verificación, medición y limpieza	Una vez por semana	Técnico Eléctrico	15 min	Máquina parada
Caja de control	Detener la bomba y bloquear la alimentación del panel de control para asegurar que la bomba no esté en funcionamiento.	Mantenimiento	Cada 3 semanas	Técnico Eléctrico	45 min	Máquina parada
	Medir el voltaje de la caja, cuando esté prendida y apagada.	Medición	Cada 2 semanas	Técnico Eléctrico	30 min	Máquina parada
Sumidero	Detener la bomba hasta que suba los niveles de líquido	Mantenimiento	Una vez por semana	Técnico Eléctrico	30 min	Máquina parada
	Verificar el nivel de líquido en el sumidero. Comprobar la posición de la bomba y los dispositivos sensores de nivel de líquido.	Verificar	Una vez por semana	Técnico Eléctrico	30 min	Máquina parada

Fuente: elaboración propia.

Tareas de control y supervisión:

Los jefes y supervisores, serán los encargados de que el desarrollo de las actividades establecidas en el plan de mantenimiento se cumpla. Para ello, deberán coordinar adecuadamente con el personal especializado en el área de trabajo. Este personal especializado, deberá recibir el apoyo adecuado para que puedan concretar sus labores en medio de un clima laboral favorable, de esta manera, cumplir con los intereses de la organización.

Equipos de protección personal (EPPs):

- Lentes de seguridad
- Casco
- Barbijo protector
- Zapatos de seguridad
- Caja de herramientas manuales
- Guanteas
- Tapones auditivos

Asimismo, el nuevo procedimiento de trabajo establece lo siguiente:

- 1) Traslado al lugar de ubicación del equipo.

- 2) Realizar la inspección del equipo: verificar las tareas que se llevarán a cabo y si el equipo requiere de algún repuesto.
- 3) Traslado al área de almacén.
- 4) Selección de las herramientas y repuestos. Será el personal encargado de las tareas de mantenimiento quienes se encarguen de seleccionar y verificar las condiciones de las herramientas y repuestos que serán necesarios para la tarea de mantenimiento.
- 5) Desplazamiento a la zona de mantenimiento.
- 6) Bloqueo de las fuentes que proporcionan corriente a el equipo.
- 7) Limpieza o cambio de piezas.
- 8) Inspección y verificación:
- 9) Encendido del equipo
- 10) Verificación del funcionamiento del equipo

Restricciones:

- El personal que no cuente con los implementos de seguridad, no cuente con conocimientos o experiencia en mantenimiento de bombas sumergibles y no cuenten con la respectiva autorización del jefe de mantenimiento, no podrán realizar inspecciones, modificaciones, o cualquier tipo de acción sobre el equipo.
- Se prohíbe al personal realizar tareas de limpieza o mantenimiento mientras el equipo se encuentre en funcionamiento.
- Ante el incorrecto funcionamiento de la línea eléctrica, será el personal de mantenimiento eléctrico el que se encargará de realizar las inspecciones a la bomba y constatar que no existan niveles de voltaje que pongan en peligro la salud del equipo de mantenimiento.

Cronograma de mantenimiento

La elaboración del cronograma de mantenimiento para la bomba, permitirá tener una mejor planificación y control de las diferentes tareas que se deben llevar a cabo en el equipo, cumpliendo de esta manera con los tiempos y evitar el surgimiento de

alguna falla grave. El cronograma del mantenimiento se presenta en el Anexo 9 del presente documento.

3.5.5. Análisis Económico

La empresa minera anterior a la propuesta aplicaba una política de mantenimiento, este se caracterizaba por realizar en su mayoría mantenimiento de tipo correctivo, y en menor cantidad mantenimiento preventivo. La siguiente tabla muestra los costos por el mantenimiento realizado 12 semanas antes del Plan de mejora, se presenta los insumos y repuestos que fueron utilizados para corregir la averías que se presentaron en el tiempo mencionado.

Tabla 8. Costos de Mantenimiento antes del Plan

N°	Insumos y Repuestos	Identificación	Cantidad	Costo Unitario (\$)	Costo Insumo y repuestos (\$)
1	Rotor	unidad	15	41	615
2	Aceite ligero	unidad	5	30	150
3	Engrase	unidad	5	20	100
4	Aceite	unidad	2	184.5	369
5	Filtro de succión	unidad	6	55	330
6	Interruptor a presión	unidad	10	1225.9	12259
7	Anillo sellador	unidad	30	164	4920
8	Tornillos	unidad	90	1	90
9	Guardamotor	unidad	4	60	240
10	Toallas industriales	unidad	12	5	60
11	Grafito	unidad	5	12	60
12	Teflón	unidad	31	2	62
					19255

Fuente: Manual de Bomba Gorman Rupp

La mayoría de los costos detallados en la Tabla 8, son por reemplazo de elementos de la bomba, los cuales urgía un cambio para que no se interrumpa la operatividad del proceso, que hacen una suma de S/ 19,255.

Sin embargo, con la aplicación del Plan se enfocó en la realización de actividades periódicas que eviten y reduzcan los costos por averías ante fallos irreparables, pero se debe hacer mención que las primeras semanas de la puesta en marcha del Plan se tuvo que realizar actividades de reparación y reemplazo, ya que el estado de las bombas lo ameritaba, pasadas tres semanas el estado de las bombas se normalizó por el cumplimiento de las actividades de mantenimiento preventivas. A

continuación, se presenta los costos incurridos en la etapa post test, que hacen una suma de S/ 7,849.40.

Tabla 9. Costos de Mantenimiento durante el Plan

N°	Insumos y Repuestos	Unidad	Cantidad	Costo Unitario (\$)	Costo Total (\$)
1	Cables de Potencia	metro	20	19.92	398.4
2	Cables de Potencia	metro	20	19.4	388
3	Cables de Potencia	metro	20	19.4	388
5	Aceite ligero	unidad	2	30	60
6	Rodamiento	unidad	4	19	76
7	Grasa	unidad	5	25	125
8	Cambio de sello mecánico	unidad	10	410	4100
9	Anillo sellador	unidad	10	164	1640
10	Empaquetaduras	unidad	18	9	162
11	Tornillos	unidad	90	1	90
12	Guardamotor	unidad	4	60	240
13	Toallas industriales	unidad	12	5	60
14	Grafito	tarro	5	12	60
15	Teflón	unidad	31	2	62
					7849.4

Fuente: Elaboración propia

Análisis comparativo de costos

En la Tabla 10, se realizó una comparación de los costos incurridos en el mantenimiento en adición con los costos de mano de obra del personal técnico que se encargan de las actividades programadas, la principal razón por la que los costos por mano de obra son altos en el Post Test es por la continua realización de actividades de revisión, verificación, inspección y medición del estado de las bombas de acuerdo al Plan.

Tabla 10. Comparación de Costos Pre Test y Post Test

Costo	Pre Test	Post Test
Costo de Insumos y Reparaciones	19255	7849.4
Costo de Mano de Obra	3300	5600
Total	22225	13249.4
Tasa de Disminución		-40%

Fuente: Elaboración propia

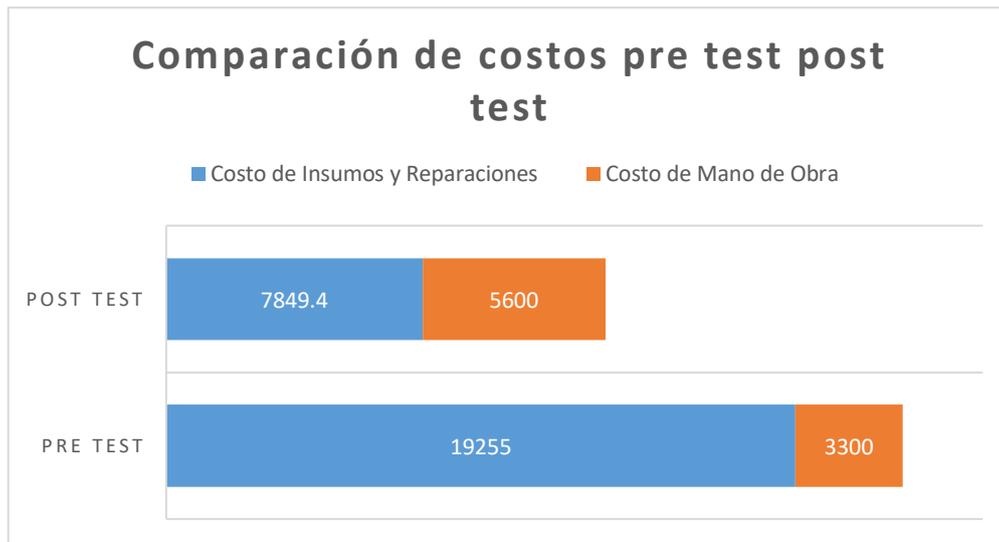


Figura 6. Comparación de Costos Pre Test y Post Test

Para el Pre Test los costos incurridos ascienden a S/22,225 mientras que para el Post Test es de S/ 13,249.40 evidenciándose una reducción de costos de 40% que es debido principalmente a la reducción de reemplazo de elementos de las bombas por fallas irreparables. Por lo tanto, se determina la viabilidad económica del Plan de Mantenimiento Preventivo ya que mejora la reducción de costos en un 40%.

El desarrollo de la propuesta en la empresa se llevó a cabo en distintas etapas:

La primera etapa tomo en cuenta el diagnóstico del problema, se observó de forma directa en la empresa las falencias que se presentaban con respecto a las bombas y su disponibilidad, se realiza una medición y planteamiento de las deficiencias por escrito encontradas en las bombas sumergibles, se organizó una asamblea con los gerentes de la empresa para hacer una valoración de las fallas críticas.

En la **segunda etapa** se llevó a cabo la propuesta, se procedió al planteamiento de la solución, elaborándose un plan de mantenimiento preventivo, determinando los modos de falla más críticos de las bombas, para lo cual se utilizó una valoración de los mismos tomando en cuenta valores que se le asignaron de acuerdo a principios desarrollados por el mismo investigador.

Se realizó una planificación de las mejoras, se definieron los medios para la aplicación y el plan de actividades, se diseñó el plan de mantenimiento estructurado por componente, tarea propuesta, periodo, personal a cargo, tiempo aproximado y la condición de la máquina, y se presentó para su aprobación.

Finalmente, en la **tercera etapa**, una vez que se han planteado las actividades de mantenimiento preventivo, se procede con su implementación y supervisión para verificar la correcta ejecución del Plan de Mantenimiento y sus efectos respecto a la disponibilidad de las bombas, para ello se realizó evaluaciones y reuniones con los gerentes para constatar las mejoras (ver anexo 8)

3.6. Método de análisis de la información

El análisis de datos cuantitativos se puede desarrollar mediante programas computacionales. Considerando los niveles de medida de cada variable, "se recurre a las técnicas de estadísticas descriptivas e inferenciales" (Sánchez, Reyes, & Mejía, 2018, pág. 16). Esta investigación llevó a cabo un análisis descriptivo de los indicadores de las variables mediante gráficos de tendencias elaborados con el software Excel, presentando la media y desviación estándar de los datos agrupados en, los que se toman en el pre test y los tomados en el post test. Asimismo, se realizó un análisis mediante la estadística **inferencial**, para la contrastación de las hipótesis planteadas y la estimación de parámetros utilizando el software SPSS, primero se realiza el análisis de normalidad, para determinar si se trata de un

comportamiento no paramétrico de las variables (cuando el valor de significancia es ≤ 0.05) o paramétrico (sig. > 0.05), para posteriormente comprobar las hipótesis mediante la Prueba de Wilcoxon si fuera no paramétrico o la Prueba de T Student si fuera paramétrico y aceptar la hipótesis nula o la alternativa en cada caso.

3.7. Aspectos Éticos

Se considera toda investigación como un aporte a la comunidad educativa, por ello el presente trabajo se realiza de manera transparente y responsable, cada referencia que se hizo uso, se citó de manera adecuada respetando los derechos de autor. Así mismo, para la realización de esta investigación se emplearon datos directos del funcionamiento de las bombas sumergibles ubicadas en una unidad minera. La empresa contratista que brinda servicios de mantenimiento a estas bombas sumergibles concedió los permisos necesarios sobre la información de la empresa acerca de las bombas, cuya carta de autorización se encuentra en la página 88. Por otro lado, se prueba la autenticidad del documento mediante el análisis anti plagio con el programa turnitin.

IV. RESULTADOS

4.1. Estadística descriptiva

En este punto se pasa a medir descriptivamente las dimensiones de las variables planteadas con sus respectivos indicadores. Haciendo una comparación de la situación antes de la ejecución del plan preventivo y después de este

4.1.1. Variable independiente: Plan de mantenimiento preventivo

De acuerdo a las dimensiones planteadas, la variable plan de mantenimiento preventivo, engloba los siguientes indicadores.

Planificación

Para el cálculo de las horas de mantenimiento ejecutadas en el periodo de las 12 semanas previas y posteriores a la implementación, se aplicó la siguiente fórmula:

$$\% = \frac{\text{Horas de Mto. Correctivo}}{\text{Horas de Mto. Preventivo}}$$

Tabla 11. Planificación (pre test – post test)

		Planificación			
		Semanas	N° acciones correctivas	N° acciones preventivas	Nivel de Mtto.
Pre test	Semana 1.		11	3	3.67
	Semana 2.		14	6	2.33
	Semana 3.		13	4	3.25
	Semana 4.		13	3	4.33
	Semana 5.		14	3	4.67
	Semana 6.		12	4	3.00
	Semana 7.		14	4	3.50
	Semana 8.		13	4	3.25
	Semana 9.		15	5	3.00
	Semana 10.		12	5	2.40
	Semana 11.		12	6	2.00
	Semana 12.		13	4	3.25
Post test	Semana 1.		4	8	0.50
	Semana 2.		3	12	0.25
	Semana 3.		2	8	0.25
	Semana 4.		3	9	0.33
	Semana 5.		3	11	0.27
	Semana 6.		2	10	0.20
	Semana 7.		4	8	0.50
	Semana 8.		2	11	0.18
	Semana 9.		3	10	0.30
	Semana 10.		4	9	0.44
	Semana 11.		2	11	0.18
	Semana 12.		3	10	0.30
Promedio antes			13.00	4.25	3.22
Promedio Después			2.92	9.75	0.31

Fuente: elaboración propia

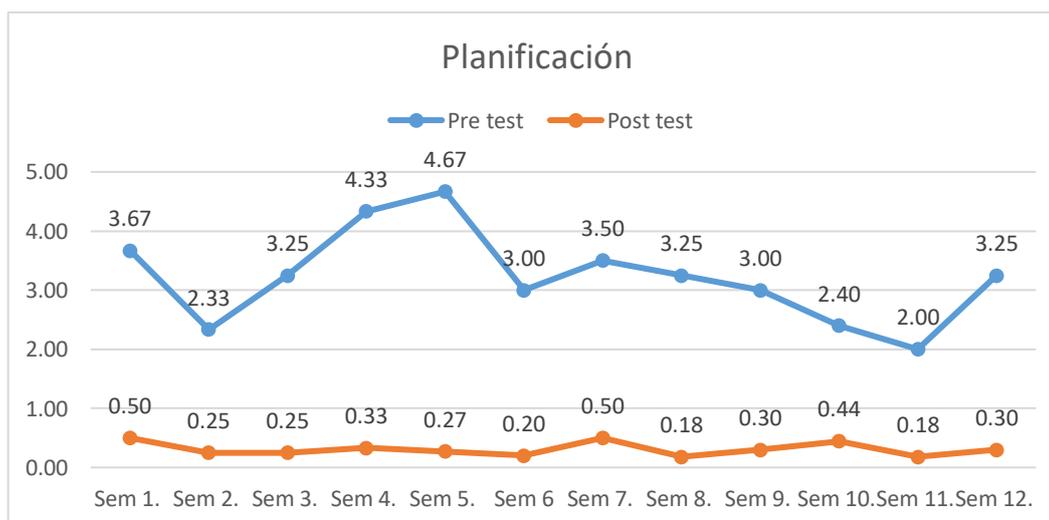


Figura 7. Planificación (pretest – post-test)

En la planificación se relacionó las acciones de mantenimiento preventivo y las acciones de mantenimiento correctivo llevadas a cabo durante el pre test y el post test. En función con la Tabla N° 11 en el pre test realizado, se llegaron a ejecutar en promedio 13 acciones correctivas y 4.25 acciones preventivas, significando que el número de acciones correctivas es superior a las preventivas en el periodo de 3 meses. Dado que por cada acción preventiva había 3.22 acciones correctivas. Una vez puesto en marcha el Plan de Mantenimiento, se realizó el post test, obteniéndose que en promedio se llegaron a ejecutar 2.92 acciones correctivas en promedio y 9.75 acciones preventivas. Es decir que, el número de acciones correctivas disminuyó, dado que por cada acción preventiva había 0.31 acciones correctivas.

Programación

Respecto al análisis de cumplimiento de las horas empleadas en las actividades de mantenimiento se determina con la siguiente fórmula:

$$= \frac{\text{Horas del Mantenimiento Ejecutadas.}}{\text{Horas de Mantenimiento Programadas}}$$

Tabla 12. Cumplimiento de la programación (pre test – post test)

		Programación			
		Semanas	Horas de mantenimiento ejecutadas	Horas de mantenimiento programadas	horas de Mtto. ejecutadas%
Pre test	Semana 1.		120.00	163.00	73.62%
	Semana 2.		117.00	166.00	70.48%
	Semana 3.		127.00	175.00	72.57%
	Semana 4.		122.00	156.00	78.21%
	Semana 5.		124.00	150.00	82.67%
	Semana 6.		116.00	186.00	62.37%
	Semana 7.		118.00	171.00	69.01%
	Semana 8.		108.00	171.00	63.16%
	Semana 9.		128.00	173.00	73.99%
	Semana 10.		123.00	151.00	81.46%
	Semana 11.		127.00	173.00	73.41%
	Semana 12.		123.00	171.00	71.93%
Post test	Semana 1.		174.00	209.25	83.15%
	Semana 2.		225.00	263.50	85.39%
	Semana 3.		250.00	271.25	92.17%
	Semana 4.		165.00	170.50	96.77%
	Semana 5.		295.00	302.25	97.60%
	Semana 6.		219.00	224.75	97.44%
	Semana 7.		181.00	217.00	83.41%
	Semana 8.		222.00	263.50	84.25%
	Semana 9.		219.00	263.50	83.11%
	Semana 10.		160.00	170.50	93.84%
	Semana 11.		289.00	310.00	93.23%
	Semana 12.		190.00	224.75	84.54%
Prom.antes			121.08	167.17	72.74%
Prom.Desp.			215.75	240.90	89.58%

Fuente: elaboración propia

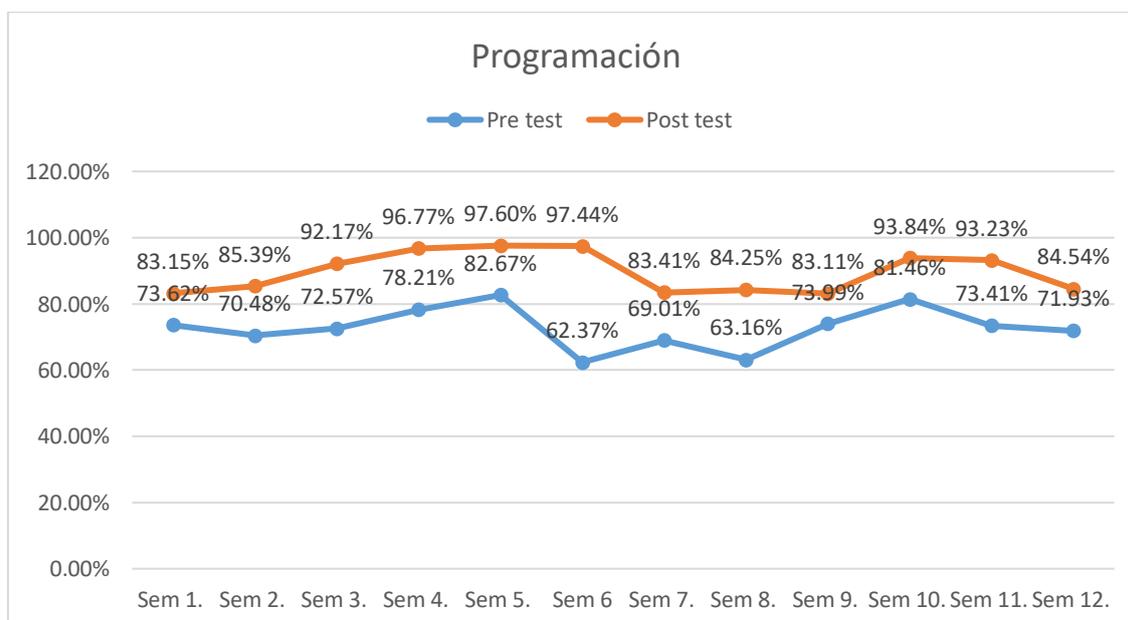


Figura 8. Cumplimiento de la programación (pre test – post test)

La tabla 12, muestra que en el pre test se programaron en promedio 167.17 horas de mantenimiento y se llevaron a cabo 121.08 horas de mantenimiento programado para las bombas, en promedio solo se cumplió con el 72.74% de las horas planificadas para realizar el mantenimiento. Una vez aplicado el Plan, el post test evidenció que se asignaron en promedio 240.90 horas mantenimientos y se ejecutaron 215.75 horas de mantenimiento preventivo, en promedio se llegaron a ejecutar 89.58% de las horas de mantenimiento programadas.

Ejecución

Para el cálculo del número de mantenimientos que se llevaron a cabo, se aplicó la siguiente fórmula:

$$= \frac{N^{\circ} \text{ de acciones correctivas.}}{N^{\circ} \text{ de acciones preventivas}} \times 100\%$$

Tabla 13. Ejecución de mantenimientos (pre test – post test)

		Ejecución			
		Semanas	Horas de Mtto. Correctivo	Horas de Mtto. Preventivo	Nivel de horas de Mts. Ejecutados
Pre test	Semana 1.		340	120.00	2.83
	Semana 2.		349	117.00	2.98
	Semana 3.		306	127.00	2.41
	Semana 4.		347	122.00	2.84
	Semana 5.		354	124.00	2.85
	Semana 6.		387	116.00	3.34
	Semana 7.		292	118.00	2.47
	Semana 8.		372	108.00	3.44
	Semana 9.		317	128.00	2.48
	Semana 10.		292	123.00	2.37
	Semana 11.		301	127.00	2.37
	Semana 12.		307	123.00	2.50
Post test	Semana 1.		52	174.00	0.30
	Semana 2.		55	225.00	0.24
	Semana 3.		49	250.00	0.20
	Semana 4.		52	165.00	0.32
	Semana 5.		59	295.00	0.20
	Semana 6.		51	219.00	0.23
	Semana 7.		60	181.00	0.33
	Semana 8.		57	222.00	0.26
	Semana 9.		54	219.00	0.25
	Semana 10.		54	160.00	0.34
	Semana 11.		46	289.00	0.16
	Semana 12.		52	190.00	0.27
Prom.antes			330.33	121.08	2.74
Prom.Desp.			53.42	215.75	0.26

Fuente: elaboración propia

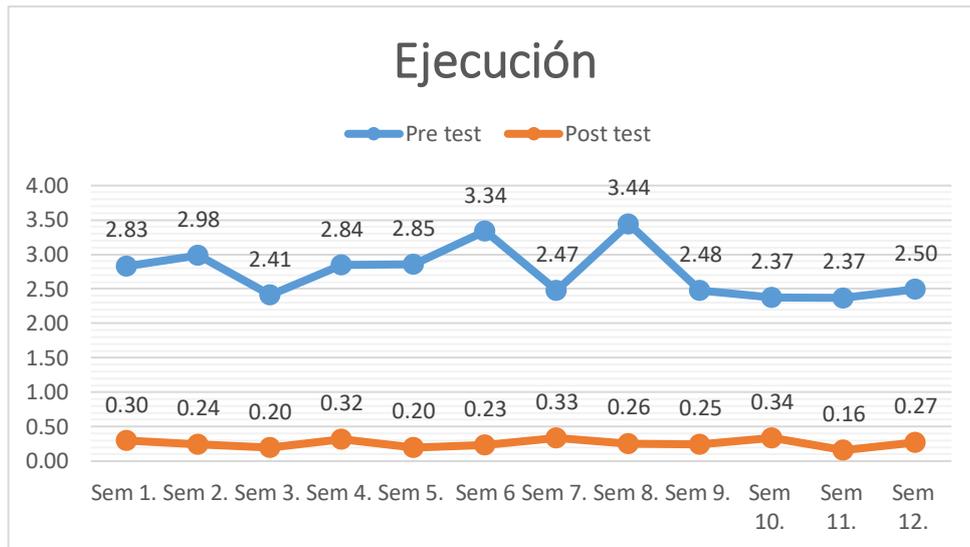


Figura 9. Ejecución de mantenimientos (pre test – post test)

Para esta fase se establece relación entre el mantenimiento preventivo y las horas de mantenimiento correctivo que se efectuaron en el periodo del pre test y post test. De acuerdo con la tabla 13 en el pre test realizado, se obtuvo que en promedio se llegaron a ejecutar 330.33 horas correctivas en promedio y 121.08 horas preventivas, lo que da a entender que se realizaron más horas correctivas que preventivas en el periodo de 3 meses, ya que, por cada hora correctiva, había 2.74 horas correctivas en promedio. Luego de la implementación del plan de mantenimiento, se llevó a cabo el post test, se obtuvo que en promedio se llegaron a ejecutar 53.42 horas correctivas y 215.75 horas preventivas en promedio. Es decir que, a comparación de las horas correctivas, se llegaron a ejecutar más mantenimientos preventivos, disminuyendo los correctivos

Control

Para el control de las actividades realizadas se procede a aplicar la siguiente fórmula.

$$\text{Actividades programadas} = \frac{\text{Actividades realizadas}}{\text{Actividades programadas}} \times 100\%$$

Tabla 14. Control de actividades realizadas (pre test – post test)

		Control			
		Semanas	N° actividades realizadas	N° actividades programadas	Control
Pre test	Semana 1.		3	6	0.50
	Semana 2.		6	7	0.86
	Semana 3.		4	6	0.67
	Semana 4.		3	6	0.50
	Semana 5.		3	4	0.75
	Semana 6.		4	6	0.67
	Semana 7.		4	6	0.67
	Semana 8.		4	7	0.57
	Semana 9.		5	6	0.83
	Semana 10.		5	7	0.71
	Semana 11.		6	7	0.86
	Semana 12.		4	7	0.57
Post test	Semana 1.		8	9	0.89
	Semana 2.		12	13	0.92
	Semana 3.		8	10	0.80
	Semana 4.		9	10	0.90
	Semana 5.		11	12	0.92
	Semana 6.		10	11	0.91
	Semana 7.		8	9	0.89
	Semana 8.		11	13	0.85
	Semana 9.		10	10	1.00
	Semana 10.		9	10	0.90
	Semana 11.		11	12	0.92
	Semana 12.		10	11	0.91
Prom.antes			4.25	6.25	67.96%
Prom.Desp.			9.75	10.83	89.99%

Fuente: Elaboración propia

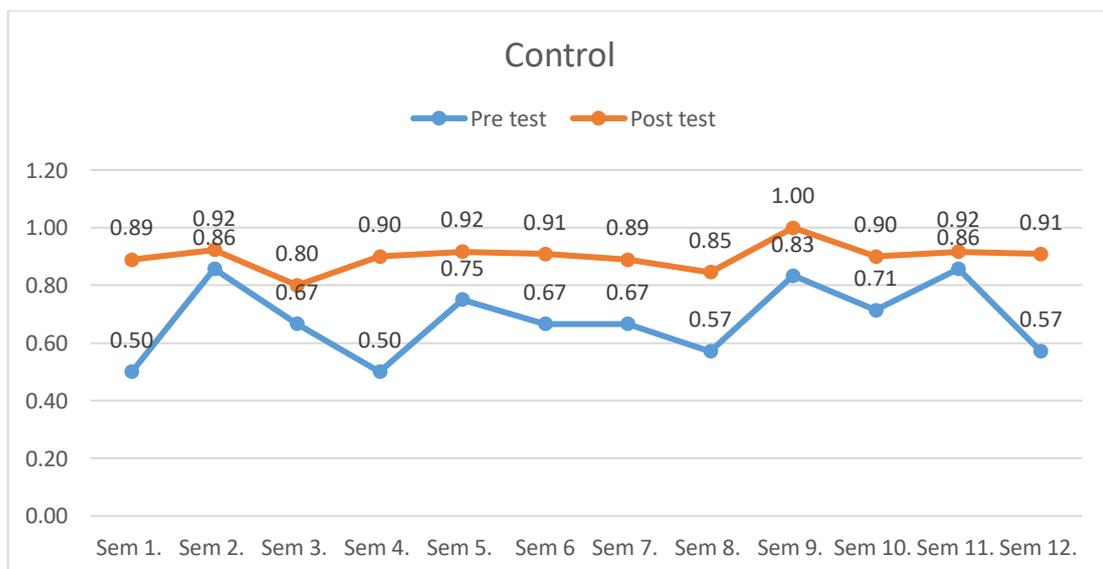


Figura 10. Control de actividades realizadas (pre test – post test)

En función a la inspección de tareas de mantenimiento ejecutadas, la tabla 14, muestra que en el pre test se programaron en promedio 6.25 actividades de mantenimiento y se llevaron a cabo 4.25 actividades de mantenimiento programado, es decir que en promedio solo se cumplió con el 67.96% de las actividades programadas de mantenimiento. Con la implementación del plan de mantenimiento, el post test mostró que en promedio se programaron 10.83 actividades de mantenimientos y se ejecutaron 9.75 actividades de mantenimiento preventivo; es decir, en promedio se llegaron a ejecutar 89.99% actividades de mantenimiento programadas.

4.1.2. Variable dependiente: Disponibilidad

Confiabilidad

Para hallar la confiabilidad se aplicó la siguiente fórmula:

$$TPEF = \frac{\text{Horas totales en servicio}}{\text{Cantidad de fallas reportadas}}$$

Tabla 15. Cálculo de la confiabilidad

CONFIABILIDAD				
	Semanas	Horas totales en servicio	Cantidad de fallas reportadas	Confiabilidad (TPEF)
Pre test	Semana 1.	3880	14	277.14
	Semana 2.	3874	20	193.70
	Semana 3.	3907	17	229.82
	Semana 4.	3871	16	241.94
	Semana 5.	3862	17	227.18
	Semana 6	3837	16	239.81
	Semana 7.	3930	18	218.33
	Semana 8.	3860	17	227.06
	Semana 9.	3895	20	194.75
	Semana 10.	3925	17	230.88
	Semana 11.	3912	18	217.33
	Semana 12.	3910	17	230.00
Post test	Semana 1.	4114	12	342.83
	Semana 2.	4060	15	270.67
	Semana 3.	4041	10	404.10
	Semana 4.	4123	12	343.58
	Semana 5.	3986	14	284.71
	Semana 6	4070	12	339.17
	Semana 7.	4099	12	341.58
	Semana 8.	4061	13	312.38
	Semana 9.	4067	13	312.85
	Semana 10.	4126	13	317.38
	Semana 11.	4005	13	308.08
	Semana 12.	4098	13	315.23
	Prom.antes	3888.58	17.25	227.33
	Prom.Desp.	4070.83	12.67	324.38

Fuente: Elaboración propia

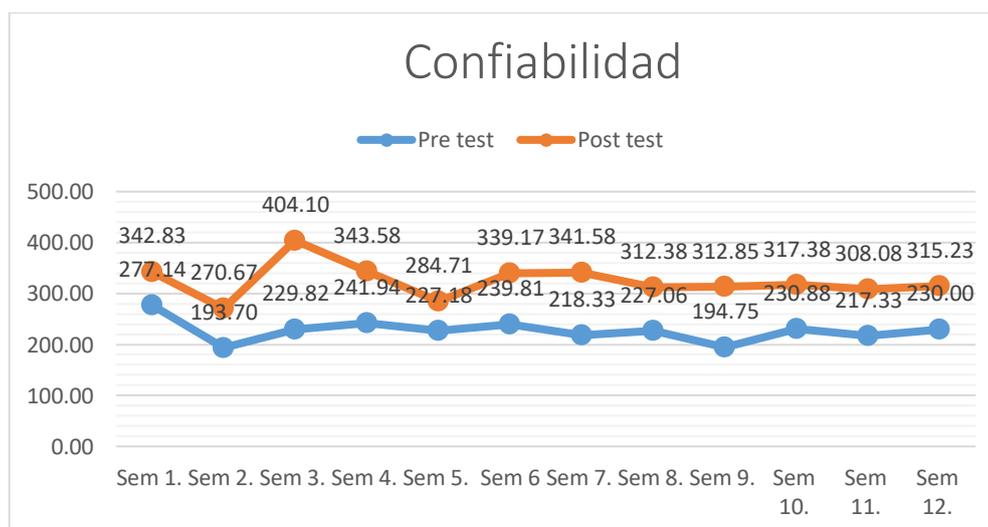


Figura 11. Confiabilidad de las bombas

La tabla N° 15, da a conocer a confiabilidad de las bombas en la situación inicial y luego de la aplicación del plan de mantenimiento propuesto. En el pre test se tiene que en promedio la flota de 31 bombas se encontraba 3888.58 horas en servicio y que en promedio se reportaban 17.25 fallas; es decir, los equipos en promedio funcionaban 227 .33 horas entre cada falla. Subsiguiente a ello se desarrolló el Plan de Mantenimiento; en el post test se obtuvo que en promedio el conjunto de 31 bombas se encontraba 4070.83 horas en servicio y que en promedio se reportaban 12.67 fallas; es decir, el numero en promedio de equipos en funcionamiento es de 324.36 horas entre cada falla.

Mantenibilidad

Para hallar la Mantenibilidad se aplicó la siguiente fórmula:

$$TMR = \frac{\text{Horas de mant correctivo}}{\text{Cantidad de fallas}}$$

Tabla 16. Cálculo de la mantenibilidad

MANTENIBILIDAD				
	Semanas	Horas de mantenimiento	Cantidad de fallas	Mantenibilidad (TMR)
Pre test	Semana 1.	460	14	32.86
	Semana 2.	466	20	23.30
	Semana 3.	433	17	25.47
	Semana 4.	469	16	29.31
	Semana 5.	478	17	28.12
	Semana 6.	503	16	31.44
	Semana 7.	410	18	22.78
	Semana 8.	480	17	28.24
	Semana 9.	445	20	22.25
	Semana 10.	415	17	24.41
	Semana 11.	428	18	23.78
	Semana 12.	430	17	25.29
Post test	Semana 1.	226	12	18.83
	Semana 2.	280	15	18.67
	Semana 3.	299	10	29.90
	Semana 4.	217	12	18.08
	Semana 5.	354	14	25.29
	Semana 6.	270	12	22.50
	Semana 7.	241	12	20.08
	Semana 8.	279	13	21.46
	Semana 9.	273	13	21.00
	Semana 10.	214	13	16.46
	Semana 11.	335	13	25.77
	Semana 12.	242	13	18.62
	Prom.antes	451.42	17.25	26.44
	Prom.Desp.	269.17	12.67	21.39

Fuente: Elaboración propia

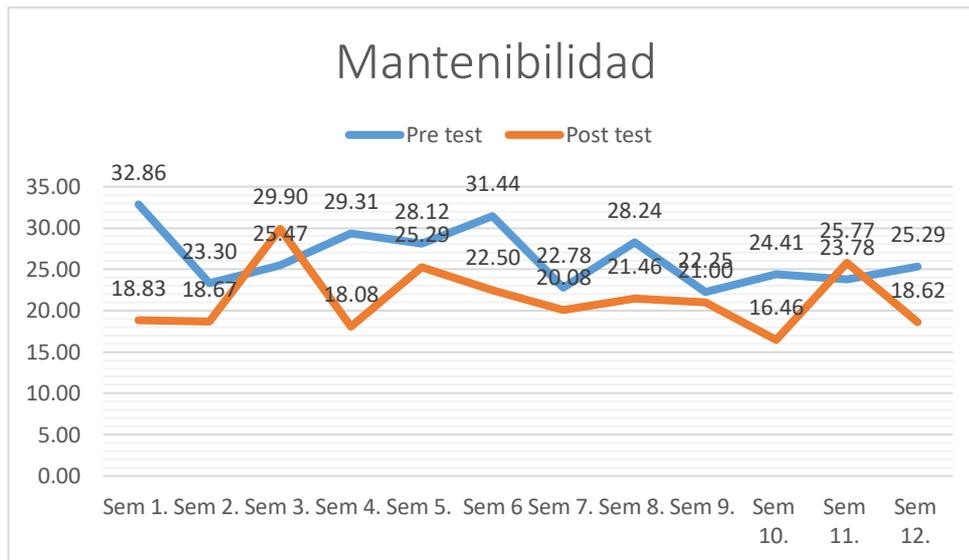


Figura 12. Mantenibilidad de las bombas

La tabla 16, muestra el nivel de mantenibilidad de las bombas antes y después de la implementación del plan de mantenimiento preventivo a las 31 bombas. En el pre test se obtuvo que en promedio las horas que se tomaban para el mantenimiento fue de 451.42 horas y que en promedio se reportaban 17.25 fallas; es decir, el tiempo medio para el arreglo de los equipos en promedio fue de 26.44 horas. Los resultados después de la puesta en marcha del plan de mantenimiento; en el post test se obtuvo que en promedio las horas de mantenimiento ejecutadas fueron 269.17 horas y que el promedio de fallas reportadas fue 12.67; es decir, el tiempo medio para las reparaciones de los equipos con el plan de mantenimiento en promedio fue de 21.39 horas.

Disponibilidad

Una vez encontrado los valores de la confiabilidad y la mantenibilidad, se procede finalmente a determinar la disponibilidad de las bombas antes y después del plan de mantenimiento preventivo, el cálculo se realiza a través de la siguiente fórmula:

$$\% \text{ de disponibilidad} = \frac{TPEF}{TPEF + TMR}$$

Tabla 17. Disponibilidad antes y después del mantenimiento preventivo

		DISPONIBILIDAD			
		Semanas	Confiabilidad (TPEF)	Mantenibilidad (TPEF)	Disponibilidad
Pre test	Semana 1.		277.14	32.86	89.40%
	Semana 2.		193.70	23.30	89.26%
	Semana 3.		229.82	25.47	90.02%
	Semana 4.		241.94	29.31	89.19%
	Semana 5.		227.18	28.12	88.99%
	Semana 6.		239.81	31.44	88.41%
	Semana 7.		218.33	22.78	90.55%
	Semana 8.		227.06	28.24	88.94%
	Semana 9.		194.75	22.25	89.75%
	Semana 10.		230.88	24.41	90.44%
	Semana 11.		217.33	23.78	90.14%
	Semana 12.		230.00	25.29	90.09%
Post test	Semana 1.		342.83	18.83	94.79%
	Semana 2.		270.67	18.67	93.55%
	Semana 3.		404.10	29.90	93.11%
	Semana 4.		343.58	18.08	95.00%
	Semana 5.		284.71	25.29	91.84%
	Semana 6.		339.17	22.50	93.78%
	Semana 7.		341.58	20.08	94.45%
	Semana 8.		312.38	21.46	93.57%
	Semana 9.		312.85	21.00	93.71%
	Semana 10.		317.38	16.46	95.07%
	Semana 11.		308.08	25.77	92.28%
	Semana 12.		315.23	18.62	94.42%
Prom.antes			227.33	26.44	0.90
Prom.Desp.			324.38	21.39	0.94

Fuente: Elaboración propia

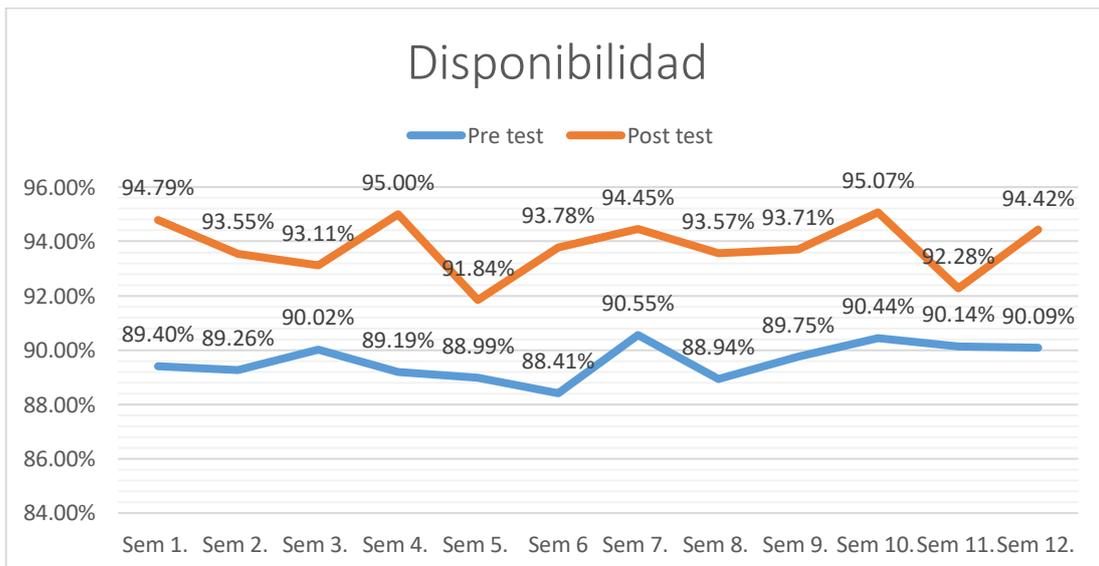


Figura 13. Disponibilidad de las bombas (antes y después)

La disponibilidad de las 31 bombas antes y después del mantenimiento preventivo, la tabla 15, muestra que con respecto a la confiabilidad que representa el tiempo entre las fallas, antes se encontraba en 227.33 horas y pasó a 324.38 horas con la implementación, incrementando el nivel de confiabilidad del conjunto de bombas. Respecto a la Mantenibilidad, el tiempo entre las reparaciones pasó de 26.44 a 21.39 horas. Se determina el aumento de la disponibilidad de los equipos, dado que se pasó de una disponibilidad de 90% a 94% de los equipos.

4.2. Estadística inferencial

Para la validación de las hipótesis planteadas en esta investigación, se aplicó la prueba Shapiro Wilk y posteriormente se hizo un análisis paralelo de las medias a través de la prueba T de Student.

4.2.1. Hipótesis general

Se aplicó la prueba de normalidad a los datos del antes y después de la variable dependiente “Disponibilidad”, por medio de la siguiente regla de decisión:

Si sig. \leq 0.05, los datos de la serie tienen un comportamiento no paramétrico

Si sig. $>$ 0.05, los datos de la serie tienen un comportamiento paramétrico

Tabla 18. Prueba de normalidad para la variable Disponibilidad

	Pruebas de normalidad					
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Disponibilidad antes	,153	12	,200*	,958	12	,760
Disponibilidad después	,155	12	,200*	,934	12	,425

*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 18, se puede visualizar que luego de aplicar la prueba de normalidad de Shapiro Wilk, la variable Disponibilidad obtiene los siguientes valores:

Disponibilidad antes posee un $p=0.760$

Disponibilidad después posee un $p=0.425$

Dado que los datos de la variable “Disponibilidad” del antes y después tienen distribución normal, la contrastación de la hipótesis general se realizó con la prueba T Student.

Contrastación de hipótesis general

H_0 : La implementación de un Plan de Mantenimiento Preventivo no mejora la disponibilidad de las bombas Gorman Rupp de la empresa EICM Engineering S.A.C., 2021

H_a : La implementación de un Plan de Mantenimiento Preventivo mejora la disponibilidad de las bombas Gorman Rupp de la empresa EICM Engineering S.A.C., 2021

Regla de decisión

H_0 : $\mu_{\text{Disponibilidad Antes}} \geq \mu_{\text{Disponibilidad Después}}$

H_a : $\mu_{\text{Disponibilidad Antes}} < \mu_{\text{Disponibilidad Después}}$

Tabla 19. Estadísticos de la prueba T de Student para “Disponibilidad”

Estadísticas de muestras emparejadas					
		Media	N	Desviación estándar	Media de error estándar
Par 1	Disponibilidad antes	89,5983	12	,66648	,19240
	Disponibilidad después	93,7975	12	1,02655	,29634

Fuente: Elaboración propia

Tabla 20. Prueba T de Student para “Disponibilidad”

Prueba de muestras emparejadas								
	Diferencias emparejadas					t	gl	Sig. (bilateral)
	Media	Desviación estándar	Media de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia				
				Inferior	Superior			
Par 1 Disponibilidad antes - Disponibilidad después	- 4,199 17	1,09618	,31644	-4,89565	-3,50269	- 13,27 0	11	,000

Fuente: Elaboración propia

Interpretación: Se evidencia que la media de “Disponibilidad” previo al plan de mantenimiento es de (89,60) el cual es menor que la media de la “Disponibilidad” después (93.78), por lo que se acepta la hipótesis alternativa, es decir que la implementación de un Plan de Mantenimiento Preventivo mejora la disponibilidad de las bombas Gorman Rupp.

4.2.2. Hipótesis específica uno

Con la finalidad de contrastar la hipótesis específica uno se aplicó la prueba de normalidad a los datos del antes y después de la dimensión uno “Confiabilidad”, por medio de la siguiente regla de decisión:

Si sig. \leq 0.05, los datos de la serie tienen un comportamiento no paramétrico.

Si sig. $>$ 0.05, los datos de la serie tienen un comportamiento paramétrico.

Tabla 21. Prueba de normalidad de los datos de Confiabilidad

	Pruebas de normalidad					
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Confiabilidad antes	,185	12	,200*	,907	12	,196
Confiabilidad después	,203	12	,186	,916	12	,254

*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 21, se puede visualizar que luego de aplicar la prueba de normalidad de Confiabilidad antes posee un $p=0.196$

Confiabilidad después posee un $p=0.254$

Dado que los datos de la dimensión “Confiabilidad” del antes y después resultó ser normal, la contrastación de la hipótesis específica uno se hizo con la prueba T Student.

Contrastación de hipótesis específica uno

H_0 : La implementación de un Plan de mantenimiento Preventivo no mejora la confiabilidad de las bombas Gorman Rupp de la empresa EICM Engineering S.A.C., 2021.

H_a : La implementación de un Plan de mantenimiento Preventivo mejora la confiabilidad de las bombas Gorman Rupp de la empresa EICM Engineering S.A.C., 2021

Regla de decisión

$$H_0: \mu_{\text{Confiabilidad Antes}} \geq \mu_{\text{Confiabilidad Después}}$$

$$H_a: \mu_{\text{Confiabilidad Antes}} < \mu_{\text{Confiabilidad Después}}$$

Tabla 22. Estadísticos de la prueba T de Student para “Confiabilidad”

		Estadísticas de muestras emparejadas			
		Media	N	Desviación estándar	Media de error estándar
Par 1	Confiabilidad antes	227,3167	12	21,81694	6,29801
	Confiabilidad después	324,3800	12	33,99563	9,81369

Fuente: Elaboración propia

Tabla 23. Prueba T de Student para “Confiabilidad”

		Prueba de muestras emparejadas							
		Diferencias emparejadas							
		Media	Desviación estándar	Media de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia		t	gl	Sig. (bilateral)
					Inferior	Superior			
Par	Confiabilidad antes	-							
1	- Confiabilidad después	97,0633	30,87871	8,91392	-116,68273	-77,44394	-10,889	11	,000

Fuente: Elaboración propia

Interpretación: Se demuestra que la media de la dimensión “confiabilidad” antes (227.32) es menor que la media de la dimensión “confiabilidad” después (324.28), por lo que se aceptó la hipótesis alternativa, es decir que la implementación de un Plan de Mantenimiento Preventivo optimiza la confiabilidad las bombas Gorman Rupp.

4.2.3. Hipótesis específica dos

Con la finalidad de contrastar la hipótesis específica dos se aplicó la prueba de normalidad a los datos del antes y después de la dimensión dos “Mantenibilidad”, por medio de la siguiente regla de decisión:

Si sig. \leq 0.05, los datos de la serie tienen un comportamiento no paramétrico.

Si sig. $>$ 0.05, los datos de la serie tienen un comportamiento paramétrico.

Tabla 24. Prueba de normalidad de “Mantenibilidad”

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Mantenibilidad antes	,192	12	,200*	,923	12	,313
Mantenibilidad después	,161	12	,200*	,916	12	,252

*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 24, se puede visualizar que luego de aplicar la prueba de normalidad de Mantenibilidad antes posee un $p=0.313$

Mantenibilidad después posee un $p=0.252$

Puesto que los datos de la dimensión “Mantenibilidad” del antes y después resultó ser normal, la contrastación de la hipótesis específica dos se hizo con la prueba T Student.

Contrastación de hipótesis específica dos

H_0 : La implementación de un Plan de mantenimiento Preventivo no mejora la mantenibilidad de las bombas Gorman Rupp de la empresa EICM Engineering S.A.C., 2021

H_a : La implementación de un Plan de mantenimiento Preventivo mejora la mantenibilidad de las bombas Gorman Rupp de la empresa EICM Engineering S.A.C., 2021

Regla de decisión

$$H_0: \mu_{\text{Mantenibilidad Antes}} \geq \mu_{\text{Mantenibilidad Después}}$$

$$H_a: \mu_{\text{Mantenibilidad Antes}} < \mu_{\text{Mantenibilidad Después}}$$

Tabla 25. Estadísticos de la prueba t de Student “Mantenibilidad”

		Estadísticas de muestras emparejadas			
		Media	N	Desviación estándar	Media de error estándar
Par 1	Mantenibilidad antes	26,4375	12	3,50048	1,01050
	Mantenibilidad después	21,3883	12	3,89412	1,12413

Fuente: Elaboración propia

Tabla 26. Prueba T de Student “Mantenibilidad”

Prueba de muestras emparejadas								
	Diferencias emparejadas					t	gl	Sig. (bilateral)
	Media	Desviación estándar	Media de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia				
				Inferior	Superior			
Par 1 Mantenibilidad antes - Mantenibilidad después	5,049 17	5,32995	1,53862	1,66268	8,43565	3,282	11	,007

Fuente: Elaboración propia

Interpretación: Se demuestra que la media de la dimensión “Mantenibilidad” antes (20.44) es menor que la media de la dimensión “Mantenibilidad” después (21.39), admitiéndose la hipótesis nula, es decir que la implementación de un Plan de Mantenimiento Preventivo mejora la mantenibilidad de las bombas Gorman Rupp.

V. DISCUSIÓN

DISCUSIÓN 1

Los resultados para la investigación, en base a la Tabla 19, demuestran que la media de la variable “Disponibilidad antes” (89,60) es menor que la media de la “Disponibilidad después” (93,78), por lo que se aceptó la hipótesis alternativa, es decir que la implementación de un Plan de Mantenimiento Preventivo mejora la disponibilidad de las bombas Gorman Rupp de la empresa EICM Engineering S.A.C., 2021. Representándose en una mejora de un 89.6% a un 93.8% de disponibilidad de las flota de bombas. Los resultados se contrastan con los obtenidos por Paladines (2020), quien en su propuesta basada en el mantenimiento preventivo para optimizar la disponibilidad de los vehículos dentro de una empresa, analiza dos situaciones sobre un mismo grupo de máquinas, obteniendo una disponibilidad del 79% antes de la implementación y que luego de la aplicación del plan de mantenimiento, se evidencia un progreso significativo en la disponibilidad del vehículo con un 94% de disponibilidad, demostrando la eficiencia del planteamiento. Asimismo, Cruz (2019) que planteó un plan de mantenimiento para las unidades de la flota vehicular de la municipalidad de San Miguel, con el fin de incrementar la disponibilidad de las mismas, aplicando los pasos de un análisis RCM, llegando al aumentar la disponibilidad de los vehículos en 5%. De igual forma es el resultado que hallan Pérez y Figueroa (2018) que luego de plantear y poner en práctica un plan de mantenimiento autónomo en equipos del área de peletizado de una empresa de alimentos para aves lograron aumentar disponibilidad hasta 91.64%, asegurando que un mayor alcance del mantenimiento autónomo en cada una de las áreas de la organización logrará mejores resultados. Mismos resultados obtenidos para Ysla (2020) en su investigación, que, al aplicar un sistema de mantenimiento preventivo en una empresa de camiones, logró un aumento de 13.88% en la disponibilidad de los camiones, lo cual corrobora con una prueba de hipótesis con el estadístico T de Student sobre los datos de la disponibilidad antes y después de 16 camiones de dicha empresa. De igual forma, Contreras y Loayza (2020), haciendo uso de la técnica TPM para plantear un plan de mantenimiento preventivo para la flota vehicular de una empresa logística, logra incrementar a 97% la disponibilidad de dichas unidades móviles, lo que corresponde a la reducción de 1648 fallas en 30 días de labor a 225 fallas en promedio. De la misma manera,

Tueros y Ymbertis (2020), demuestran que la aplicación de un plan de mantenimiento preventivo mejora la disponibilidad de máquinas de 67% a 93% para la empresa. Es decir, que la actuación anticipada y oportuna que se plantea a través del mantenimiento preventivo permite la disponibilidad oportuna de los mismos, de tal manera que el proceso productivo no se ve afectado por interrupciones que se traducen en costos adicionales de reposición y generación de tiempos muertos. Otro autor que respalda el mantenimiento, es Olivos (2020) , bajo la premisa que con la implementación de un Plan de Mantenimiento se mejora las condiciones de la empresa y surge efecto en la disponibilidad del equipo. Para Zhang, Gao, Guo, Li, & Yang (2017), que realiza la comparación entre mantenimientos oportunos y no oportunos acentúa el valor de la disponibilidad en tiempo real de los equipos. Todos los autores coinciden con López (2017) respecto que el mantenimiento no significa reparar las deficiencias de los equipos a medida que estos van ocurriendo, sino más bien tienen el objetivo de cumplir con la disponibilidad y fiabilidad de los equipos, enfatizando que el plan de mantenimiento preventivo se da antes de que surja la falla, en palabras de Fujishima *et al* (2017), pues de esta manera resulta ser una acción efectiva para contar con los equipos o maquinarias aptas para su operación en función al tiempo que se requiera.

DISCUSIÓN 2

Como se presentó en la tabla número 22 que la media de la Confiabilidad para un antes de la implementación del plan fue de 3888.58 horas en servicio y que en promedio se reportaban 17.25 fallas; es decir, los equipos en promedio funcionaban 227.33 horas entre cada falla, cifra que cambió luego de la implementación del plan obteniendo una media de 4070.83 horas en servicio y un reporte de fallas de 12.67 en promedio; siendo así que los equipos funcionaban 324.36 horas entre cada falla, lo que significa que se dio una mejora en la confiabilidad de 97.03 horas, validándose así la hipótesis específica planteada en la investigación, la cual establece que la implementación de un Plan de mantenimiento Preventivo mejora la confiabilidad de las bombas Gorman Rupp. Se contrasta los resultados obtenidos con la investigación de Clemente & Martínez (2020), quienes implementan un plan de mantenimiento para mejorar los niveles de confiabilidad de las máquinas, valores que inicialmente se contaba con un nivel de confiabilidad de 84% de las

maquinarias pesadas, después de la aplicación se logró mejorar a 94%, para la mejora se tuvo que verificar los historiales de fallas y que mediante un análisis de criticidad de las maquinarias se muestra la confiabilidad de las mismas. Asimismo, Pumazon y Villegas (2020) que realizaron e implementaron un plan de mantenimiento preventivo para unos equipos electrónicos de una empresa metalmecánica, logrando una mejora en la confiabilidad de las máquinas en 10 a 30% en promedio. En la misma dirección Cueva y Santillán (2020), realizan un mantenimiento preventivo para maquinarias pesadas de la municipalidad de San Marcos en Ancash, logrando un incremento de la confiabilidad de entre 16% a 31% en las cuatro máquinas analizadas. De igual forma Matos (2016) en su investigación que plantea un mantenimiento preventivo para los equipos de bombeo Putzmeister de una compañía del rubro de concreto, logrando el incremento de la confiabilidad de estos equipos de bombeo de 0.70 a 0.81, aseverando que el mejoramiento del mantenimiento de las máquinas puede mejorar la cantidad de que estas puedan estar disponibles para el trabajo. Con el mismo propósito y hallando los mismo resultados positivos Cossios (Cossios, 2018) realizó en su investigación un mejoramiento en la gestión del mantenimiento de equipos de un centro hospitalario en Chimbote, consiguiendo un aumento en la confiabilidad del equipo Atsu de 94.92% a 97.5% y para el equipo eléctrico Siemens de 94.31% a 96.96%. Al igual que Tueros & Ymbertis (2020), quienes mediante la aplicación de un plan de mantenimiento preventivo en el área de extrusado logran mejorar la confiabilidad de las máquinas de la empresa, estos resultados están fundamentados en la evaluación de la estadística inferencial aplicados donde se muestra una confiabilidad anterior de 3.11 a un escenario posterior con un 14.31. De acuerdo con Ben, Mohamed, y Muduli (2021), la selección de máquinas críticas para desarrollar una política de mantenimiento que sea óptima en base a los datos de confiabilidad de las máquinas, sirven para proponer un programa de mantenimiento. Otros autores que coincide con este mismo pensamiento son Zhang *et al.* (2017), quienes mediante su estrategia compuesta por el mantenimiento preventivo y el mantenimiento correctivo, insisten en la evaluación del tiempo entre fallas de los componentes de las máquinas en un tiempo real, señalando que es esencial para elaborar el mantenimiento que se propone, y esto lo comprueba gracias a la simulación realizada, la cual mostró un escenario óptimo

de confiabilidad mediante la aplicación de algoritmos para la optimización. Por último, se menciona que los resultados de la mejora en la confiabilidad de las bombas concuerdan con lo hallado por Del Rio y Sandoval (2018) en su investigación, que al delinear y realizar un plan de mantenimiento preventivo para el sistema de generación de Vapor de un hospital en Chimbote, logra incrementar la confiabilidad de este sistema de 89.64% a 95.99%, lo que significa que las horas de operación continua aumentaron de ser menos de 120 horas a ser en promedio 300 horas.

DISCUSIÓN 3

Se toma como base los resultados de la dimensión de “Mantenibilidad”, plasmados en la Tabla 25, se demuestra que la media de la dimensión antes (20.44) es menor que la media de la dimensión “Mantenibilidad” después (21.39), por lo que se aceptó la hipótesis alternativa, es decir que la implementación de un Plan de Mantenimiento Preventivo mejora la mantenibilidad las bombas Gorman Rupp. Se coincide con Olivos (2020), respecto a que la mantenibilidad del equipo afecta la disponibilidad del mismo, el cual registró 3 equipos críticos que poseen el periodo más largo de falla y que han tenido al equipo inoperativo, llegándose a registrar 13%, 10% y 10% de tiempo destinado para su reparación. En línea con Fuenmayor (2018) esta dimensión depende de la eficacia del personal encargado de reparaciones y además la gravedad de la falla. La inoperatividad de los equipos en un proceso operativo influye en los niveles de rendimiento que una empresa puede alcanzar. Por otro lado, Carhuas (2018) aplicó un mantenimiento preventivo para maquinarias pesadas en una empresa de Lima, con el propósito de concretar una mejora en la productividad, logrando en su desarrollo el incremento de la productividad en 27%. Con el mismo objetivo Inga y Montoya (2020) realizaron la implementación de un mantenimiento basado en TPM enfocada en el área de producción de una fábrica en Lince, logrando un incremento de la productividad en 16.4%. Carranza (2020) muestra el efecto de un plan de mantenimiento preventivo sobre la productividad total de una empresa el cual se incrementó en un 5.5%, llegando a obtener una ratio de beneficio costo de 1.96. Por su parte, Arbaiza (2020) logra el mejoramiento de la mantenibilidad de equipos de una empresa de mecánica en el Callao con la implementación de un mantenimiento basado en la técnica del

TPM, los resultados finales son medibles, en contraste con la mejora de la mantenibilidad pasando de ser 64.1% a 80.1% en una muestra de 12 semanas. Es así que, los resultados también concuerdan con Ccancce y Quiñones (2020), que en su investigación al aplicar un mantenimiento basado en la confiabilidad para el área de producción de una planta que elabora material de escritorio, lograron una reducción de la mantenibilidad de 2.5 horas de reparación a 2.0 horas de reparación, finalizando que un plan de mantenimiento tiene la capacidad de mejorar las horas de mantenimiento que se destina a un equipo en particular, mejorando de igual forma los costos el personal de mantenimiento y mejorando la disponibilidad de las máquinas.

VI.CONCLUSIONES

PRIMERA:

Se puntualiza que la implementación de un plan de mantenimiento incrementa significativamente la disponibilidad de las bombas Gorman Rupp en un 4%, ya que, se pudo observar una disponibilidad de las bombas antes de 90% y después de la mejora una disponibilidad de 94%, lo que puede ser verificado en la tabla 19, esto se comprueba con el análisis estadístico T de Student que arrojó un valor de significancia de 0.000, comprobando que si hubo una mejora en la disponibilidad de las bombas con la propuesta e implementación del plan de mantenimiento preventivo.

SEGUNDA

Se finaliza que con la implementación de un plan de mantenimiento se incrementa significativamente la confiabilidad de las bombas Gorman Rupp en 96.95 horas, ya que, se pudo observar una confiabilidad de las bombas antes de la propuesta de mejora de 227.33 horas y después de la mejora tuvieron una confiabilidad de 324.38 horas, datos tomados de la tabla 22, esto se comprueba con el análisis estadístico T de Student que arrojó un valor de significancia de 0.000, comprobando que si hubo un incremento en la confiabilidad de las bombas con la propuesta e implementación del plan de mantenimiento preventivo.

TERCERA

Se concluye que la implementación de un plan de mantenimiento disminuye significativamente la mantenibilidad de las bombas Gorman Rupp en 5.05 horas, ya que, se pudo observar una mantenibilidad de las bombas antes de la propuesta de 26.44 horas y después de la mejora tuvieron una mantenibilidad de 21.39 horas, lo que se puede observar en la tabla 25, esto se comprueba con el análisis estadístico T de Student que arrojó un valor de significancia de 0.000, comprobando que si hubo una disminución en la mantenibilidad de las bombas con la propuesta e implementación del plan de mantenimiento preventivo.

VII.RECOMENDACIONES

PRIMERA

Se recomienda la implementación de mejoras en el plan de mantenimiento de las bombas, el seguimiento al cumplimiento de las actividades de mantenimiento preventivo, ya que este, contribuye a la mejora de la disponibilidad de las bombas, lo que generaría mayor tiempo de labor de las bombas incidiendo en la productividad y la labor continua del proceso productivo en la minera. Asimismo, se debe dar importancia al cronograma de actividades de mantenimiento, aplicando las revisiones correspondientes en el momento indicado a razón de no llegar a requerir mantenimiento correctivo o paradas no planificadas. De esta manera se estaría incrementando el tiempo de horas de trabajo de las bombas y disminuyendo su costo de oportunidad como de reparación.

SEGUNDA

Se recomienda aplicar las horas de mantenimiento sugeridas, ya que, queda comprobado, que el número de horas de mantenimiento preventivo inciden sobre la confiabilidad de las bombas. Es decir, mientras mejor estén distribuidas las horas y actividades de mantenimiento preventivo, mayores serán las posibilidades de que el tiempo de trabajo antes de presentar una falla, o tiempo entre falla y falla, sea más extenso. Las revisiones preventivas que no demoran mucho tiempo y no requieren el paro de actividades de las bombas, son las acciones que marcan el desempeño de las mismas, ya que, mediante una observación o revisión, se puede observar el funcionamiento y percibir si algo está empezando a funcionar mal o indicios de una posible falla que provoque el paro de su funcionamiento.

TERCERA

Se recomienda aplicar las revisiones semanales a cada una de las bombas en particular, para estar al tanto del funcionamiento de cada una de ellas. Se debe dar importancia a cada una de las bombas, ya que, cada una cumple el rol de bombear agua acida al proceso de lixiviación, si alguna de ellas falla o tiene un

funcionamiento fuera de lo óptimo conocido, la cantidad de solución que llegue al PAD no será el requerido o será menor, lo que entorpecería el procesamiento del mineral. El cumplimiento de cada una de las revisiones de manera regular y la ejecución de los ítems del Plan de Mantenimiento preventivo, influyen en que se disminuya las horas requeridas para el mantenimiento correctivo, es decir, sustituyen a aquellas actividades de reparación que requieren mayores horas, o requieren compuestos más costosos, o incluso el cambio por una bomba nueva y esto se infiere del análisis del nivel de mantenibilidad que se logra con la implementación del plan de mantenimiento.

VII. REFERENCIAS

- Aguado, N. ,2015. Mantenimiento preventivo en máquinas herramientas. *Revista Latinoamericana Lubricación y Mantenimiento Industrial*(1), 36-38.
- Alavedra, C., Gastelu, Y., Méndez, G., Minaya, C., Pineda, B., Prieto, K., & Ríos, K. ,2016. Gestión de mantenimiento preventivo y su relación con la disponibilidad de la flota de camiones 730 e Komatsu-2013. *Revista Ingeniería Industrial*(34), 11-26.
- Arango, J., Rosero, S., & Montoya, M. ,2020. Programación de mantenimiento preventivo usando algoritmos genéticos. *Revista Lámpsakos*(23), 37-44.
- Arbaiza, L. C. ,2020. *Propuesta de mantenimiento al torno para incrementar la disponibilidad del equipo en la empresa mecánica e hidráulica GALEX S.A.C. Callao-2020*. Universidad César Vallejo, Callao.
- Arias, R., & Mejía, J. ,2018. Reliability, availability and maintainability study for failure analysis in series capacitor bank. *Engineering Failure Analysis*, 86, 158-167. doi:10.1016/j.engfailanal.2018.01.008
- Asociación Española de Normalización. ,2018. *Mantenimiento*. Madrid: Terminología del Mantenimiento.
- Baena, G. ,2017. *Metodología de la Investigación. Serie integral por competencias*. Grupo Editorial Patria.
- Bazan, R. ,2020. *Manual del ingeniero de mantenimiento* (Segunda ed.).
- Ben, J., Mohamed, A., & Muduli, K. ,2021. Effect of Preventive Maintenance on Machine Reliability in a Beverage Packaging Plant. *International Journal of System Dynamics Applications*, 10(3), 50-66. doi:http://doi.org/10.4018/IJSDA.2021070104
- Benítez, R., Díaz, A., Marrero, S., Romero, A., Villar, L., García, R., & Tamayo, J. ,2019. Algorithm to assess the maintenance using gamma distribution employing dicromatic graph. *Ingeniería Mecánica IM*, 115-120.
- Cárcel, F. ,2016. Disponibilidad, incertidumbre y cadena de fallo en mantenimiento. 5(2), 65-80. doi:DOI: http://dx.doi.org/10.17993/3ctecno.2016.v5n2e18.65-80
- Cárdenas Molina, J., & Olguín Valenzuela, I. ,2020. Preliminary design of a management maintenance model of sensitive engineering assets, for a ship

- under the concept of reliability engineering. *Ship Science & Technology*, 14(27), 9-23. doi:<https://doi.org/10.25043/19098642.202>
- Carhuas, S. S. ,2018. *Aplicación del mantenimiento preventivo de maquinarias pesadas, para incrementar la productividad, empresa L.L. Jiménez S.A.C., Lima-2018*. Universidad César Vallejo, Lima.
- Carranza, E. ,2020. *Gestión del mantenimiento preventivo para mejorar la productividad en el proceso productivo de sacos de una empresa de Lambayeque*. Universidad César Vallejo, Chiclayo, Perú.
- Ccance, J., & Quiñones, M. ,2020. *Aplicación del RCM para mejorar la productividad del área de producción de la empresa Shurtape Perú S.A. Santa Anita 2020*. Universidad César Vallejo, Lima.
- Cedeño, M. ,2019. Organización del mantenimiento preventivo en las gerencias de bienes y servicios de CORPOELEC región-occidental. *Revista boliviana de ingeniería*, 1(1), 28-40.
- Chávez, M., Jiménez, J., & Cucuri, M. ,2020. Análisis de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad (CMD) del sistema de reinyección de agua de formación. *Revista Arbitrada Interdisciplinaria KOINONIA*, 5(9), 249-267. doi:<http://dx.doi.org/10.35381/r.k.v5i9.647>
- Clemente, M., & Martínez, J. ,2020. *Plan de mantenimiento preventivo para incrementar la confiabilidad de las maquinarias pesadas en la empresa grupo señor de Pomallucay S.R.L., Huaraz -2020"*. universidad César Vallejo, Huaraz.
- Cohen, N., & Gómez, G. ,2019. *Metodología de la investigación ¿para qué? La producción de los datos y los diseños*. Editorial Teseo.
- Contreras, M., & Loayza, M. ,2020. *Plan de mantenimiento preventivo para incrementar la disponibilidad de la flota vehicular bajo la técnica de TPM en la Empresa Grupo logístico Barrial S.A.C*. Universidad César Vallejo, Lima.
- Cossios, S. J. ,2018. *Gestión del mantenimiento para incrementar la confiabilidad en los equipos de la casa de fuerza del hospital regional Chimbote 2018*. Universidad César Vallejo, Nuevo Chimbote.
- Cruz Julca, C. ,2019. *El plana de mantenimiento centrado en la confiabilidad RCM y su influencia en la disponibilidad de las unidades de la flota vehicular*

- municipalidad de San Miguel- Callao 2018. Universidad Nacional del Callao, Callao.*
- Cueva, B., & Santillan, K. D. ,2020. *Plan de mantenimiento preventivo para incrementar la confiabilidad de las maquinarias pesadas en la Municipalidad Distrital de San Marcos – Ancash, 2020. Universidad César Vallejo, Huaraz.*
- de Pater, I., & Mitici, M. ,2021. Predictive maintenance for multi-component systems of repairables with Remaining-Useful-Life prognostics and a limited stock of spare components. *Reliability Engineering and System Safety*, 1-13.
- Del Rio, K., & Sandoval, S. ,2018. *Implementación de un plan de mantenimiento preventivo para incrementar la confiabilidad del sistema de generación de vapor del hospital ESSALUD, Chimbote-2018. Universidad César Vallejo, Chimbote.*
- Emami-Mehrgani, B., Neumann, W., & Nadeau, S. ,2016. Considering human error in optimizing production and corrective and preventive maintenance policies for manufacturing systems. *Applied Mathematical Modelling*(40), 2056-2074.
- Escudero, A. ,2016. *Propuesta de un programa maestro de mantenimiento preventivo para reducir los costos operativos en la empresa Productos Industriales del Cuero S.A.C. - Trujillo. Universidad Privada del Norte, Trujillo.*
- Fuenmayor, E. ,2018. Análisis de Confiabilidad, Disponibilidad y Mantenibilidad de un Sistema de Bombeo. *Revista Digital Latinoamericana Lubricación y Mantenimiento Industrial N°5*, 17-50.
- Fujishima, M., Mori, M., Nishimura, K., Takayama, M., & Kato, Y. ,2017. Development of sensing interface for preventive maintenance of machine tools. *Procedia*(61), 796-799.
- García Sierra, J., Cárcel Carrasco, J., & Mendoza Valencia, J. ,2019. Importancia del Mantenimiento, aplicación a una industria textil y su evolución en eficiencia. *3C Tecnología. Glosas de innovación aplicadas a la pyme*, 8(2), 50-67. doi:10.17993/3ctecno/2019.v8n2e30.50-67
- Gestión. ,20 de Agosto de 2020. Minería puede ser el salvavidas para economía peruana en recesión. *Gestión*. Obtenido de <https://gestion.pe/economia/mineria-puede-ser-el-salvavidas-para-economia-peruana-en-recesion-noticia/#:~:text=cobre%20y%20zinc.->

,El%20sector%20minero%20es%20responsable%20de%2010%25%20del
%20PBI%2C%20de,Petr%C3%B3leo%20y%20Energ%C3%ADa%20(SNM
PE).

Inga, E., & Montoya, K. ,2020. *Implementación del TPM para la mejora de productividad en área de producción en la empresa S.C.R. S.A.C en planta CML - Lince, 2020*. Universidad César Vallejo, Lima.

Integra Markets. ,2017. *Gestión y Planificación del Mantenimiento Industrial*. Lima: Integra Markets.

IntegraMarkets. ,2018. *Gestión y Planificación del Mantenimiento Industrial*. Grupo América Factorial S.A.C.

IntegraMarkets Escuela de Gestión Empresarial. ,2018. *Gestión y planificación del Mantenimiento industrial* (Segundas ed.). IntegraMarkets Escuela de Gestión Empresarial.

Jagtap, H., Bewoor, A., Kumar, R., Ahmadi, M., El Haj Assad, M., & Sharifpur, M. ,2021. RAM analysis and availability optimization of thermal power plant water circulation system using PSO. *Energy Reports*, 1133-1153. doi:10.1016/j.egy.2020.12.025

Laks, P., & Verhagen, W. ,2018. Identification of optimal preventive maintenance decisions for composite components. *Transportation Research Procedia*(29), 202-212.

López, L. ,2017. *Gestión de Mantenimiento. Diseño de Modelos Integrales*.

López, M., & Pérez, A. 2018. *Pruebas de Lixiviación como evaluación ambiental de materiales*. Instituto Mexicano de Transportes, Sanfandila. Obtenido de <https://imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt515.pdf>

Martins, L., Silva, F., Pimentel, C., Casais, R., & Campilho, R. ,2020. Improving Preventive Maintenance Management in an Energy Solutions Company. *Procedia Manufacturing*(51), 1551-1558.

Matos, J. ,2016. *Gestión del Mantenimiento Preventivo para incrementar la Confiabilidad de los equipos de bombeo Putzmeister de una empresa Concretera, Villa El Salvador, 2016*. Universida César Vallejo, Lima.

MINEM. ,2017. *Minería Metálica: Guía de orientación del Uso Eficiente de la Energía y de Diagnóstico Energético*. Lima: Dirección General de eficiencia Energética. Obtenido de

http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/DGEE/eficiencia%20energetica/publicaciones/guias/1_%20guia%20mineria%20metalica%20DGEE-1.pdf

- Ministerio de Energía y Minas. ,2021. *Balance del Sector Minero al primer semestre de 2021*. Lima: Ministerio de Energía y Minas.
- Nilda Tri Putria, Taufik, & Satria, F. ,2020. Preventive Maintenance Scheduling by Modularity Design Applied to Limestone Crusher Machine. *Procedia Manufacturing*(43), 682-687.
- Olivos, D. ,2020. *Mantenimiento predictivo aplicando cámara termográfica para mejorar condiciones y su efecto en la disponibilidad del tramo Cancas-Puntamero del alimentador 1055 en Punta Sal, Tumbes 2019*. Universidad César Vallejo, Chiclayo .
- Paladines, L. ,2020. *Propuesta de gestión de mantenimiento preventivo para mejorar la disponibilidad de los vehículos mayores de la I Macro Región Policial Piura Perú, 2019*. Universidad César Vallejo, Piura.
- Paprocka, I., Skolud, B., & Kempa, W. ,2020. Predictive maintenance scheduling with reliability characteristics depending on the phase of the machine life cycle. *Engineering Optimization*, 1-19. doi:10.1080/0305215X.2020.1714041
- Pérez, A. A., & Figueroa, J. 2018. *Mante Mantenimiento autónomo para incrementar la disponibilidad de equipos del área de peletizado de la Planta de Alimentos en la empresa Técnica Avícola S.A., Pacasmayo 2018*. Universidad César Vallejo, Trujillo.
- Pérez, F. ,2021. *Conceptos generales en la gestión de mantenimiento industrial*. (U. S. Tomás, Ed.) Bacaramanga, Colombia: Ediciones USTA.
- Piqueras, R., & Fernandez-Crehuet, J. ,2020. Data Analysis for the Preventive Maintenance of Machinery. *Studies in Engineering and Technology*, 7(1), 1-8. doi:10.11114/set.v7i1.2814
- Prager, G. ,2018. Reliability, Availability, and Maintainability. *Practical Pharmaceutical Engineering*, 239-277. doi:10.1002/9781119418764.ch5
- Pumazón, A., & Villegas, M. ,2020. *Implementación de un Plan de Mantenimiento Preventivo para Mejorar la Confiabilidad de los Equipos Eléctricos del Laminador 2 - Siderperu, Chimbote 2020*. Universidad César Vallejo, Chimbote.

- Rushel, E., Portela, E., & Rocha, E. ,2017. Mining Shop-Floor Data for Preventive Maintenance Management: Integrating Probabilistic and Predictive Models. *Procedia Manufacturing*, 1127-1134.
- Rusin, A., & Baryshev, Y. ,2019. Improving Equipment Reliability and System Maintenance and Repair Efficiency. *Civil Engineering Journal*, 5(8), 1799-. doi:<http://dx.doi.org/10.28991/cej-2019-03091372>
- Sánchez, H., Reyes, C., & Mejía, K. ,2018. *Manual de términos en investigación científica, tecnológica y humanística*. Universidad Ricardo Palma.
- Selcuk, F. ,2019. A new model based on Artificial Bee Colony algorithm for preventive maintenance with replacement scheduling in continuous production lines. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 22(6). doi:<https://doi.org/10.1016/j.jestch.2019.08.003>
- The Gorman-Rupp Company. ,2016. *Bomba sumergible Modelo S8D1 - E275*. Obtenido de GrPumps GORMAN RUPP Pumps: https://assets.grpumps.com/spec_sheets/1301620.pdf
- Tri, Y., & Mercado, K. ,2020. Equipment Reliability Optimization Using Predictive Reliability Centered Maintenance: A case-Study Illustration and Comprehensive Literature Review. *2020 7th International Conference on Frontiers of Industrial Engineering*, (págs. 93-97). Filipinas. doi:10.1109 / ICFIE50845.2020.9266728
- Tseng Chang, Y., Wu Lin, C., & Jia Yu, C. 2016. Reliability and sensitivity analysis of the controllable repair system with warm standbys and working breakdown. *Computers & Industrial Engineering*, 97, 84-92. doi:<https://doi.org/10.1016/j.cie.2016.04.019>.
- Tueros, A., & Ymbertis, R. ,2020. *Aplicación de un plan de mantenimiento preventivo para mejorar la disponibilidad de máquinas en el área de extrusado de la Empresa Vicco S.A*. Universidad César Vallejo, Lima.
- Velmurugan, K., Venkumar, P., & Sudhakarapandian, R. ,2019. Reliability Availability Maintainability Analysis in Forming Industry. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering (IJITEE)*, 10.
- Vilarinho, S., Lopes, I., & Oliveira, J. ,2017. Preventive maintenance decisions through maintenance optimization models: a case study. *Procedia Manufacturing*(11), 1170-1177.

- Vishnu, C., & Regikumar, V. ,2016. Reliability Based Maintenance Strategy Selection in Process Plants:A Case Study. *Procedia Technology*(25), 1080-187.
- Ysla, A. ,2020. *Sistema de mantenimiento preventivo y su efecto en la disponibilidad de los camiones de la empresa Yspa SAC, Guadalupe 2020*. Universidad César Vallejo, Chepén.
- Zambrano, E., Prieto, A., & Castillo, R. ,2015. Indicadores de gestión de mantenimiento en las instituciones públicas de educación superior del municipio Cabimas. *Revista de estudios interdisciplinarios en Ciencias Sociales*, 17(3), 495-511.
- Zegarra, M. ,2016. Indicadores para la gestión del mantenimiento de equipos pesados. *Revista Ciencia y Desarrollo*, 19(1), 25-37. doi:<http://dx.doi.org/10.21503/CienciayDesarrollo.2016.v19i1.02>
- Zegarra, M. ,2016. Indicators for heavy equipment maintenance management. *Ciencia y Desarrollo*, 19(1), 25-37. doi:<http://dx.doi.org/10.21503/CienciayDesarrollo.2016.v19i1.02>
- Zhang, C., Gao, W., Guo, S., Li, Y., & Yang, T. ,2017. Opportunistic maintenance for wind turbines considering imperfect, reliability-based maintenance. *Renewable Energy*, 103, 606-612. doi:<https://doi.org/10.1016/j.renene.2016.10.072>

VIII. DECLARACIÓN JURADA

EICM Engineering Group S.A.C.

Of. Principal: Calle Santo Domingo N° 306A Int. 301 (Galerías Comercial Real) Cercado - Arequipa
Taller de Mantenimiento: Av. Lambramani N° 114 Cercado - Arequipa
Teléfono: 944243224 / 987138283
E-mail: proyectos.eicm@gmail.com / servicios.eicm@gmail.com



Lima, 09 de junio del 2021

Señor

Dr. Alex Antenor Benites Aliaga

Director De Nacional de la Escuela Profesional De Ingeniería Industrial de la Universidad Cesar Vallejo – Sede Lima Este

ASUNTO: AUTORIZACIÓN PARA REALIZAR TESIS DE INVESTIGACIÓN

Yo Julio Frank Huayta Ortega, identificado con DNI 43714974, en mi calidad de representante legal de la empresa EICM Engineering Group S.A.C., autorizo al estudiante Pedro César Castro Condori, estudiante de la Escuela Profesional de Ingeniería Industrial, de la Universidad Cesar Vallejo – Sede Lima Este, a utilizar información confidencial de la empresa para el desarrollo del proyecto de tesis denominado **“Implementación de un Plan de mantenimiento Preventivo para la mejora de la disponibilidad de bombas sumergibles en la Empresa EICM Engineering Group S.A.C.”**, ubicado en la Av. Lambramani 114 Cercado en la ciudad de Arequipa. Como condiciones contractuales, el estudiante se obliga a (1) no divulgar ni usar para fines personales la información (documentos, expedientes, escritos, artículos, contratos, estados de cuenta y demás materiales) que, con objeto de la relación de trabajo, le fue suministrada; (2) no proporcionar a terceras personas, verbalmente o por escrito, directa o indirectamente, información alguna de las actividades y/o procesos de cualquier clase que fuesen observadas en la empresa durante la duración del proyecto y (3) no utilizar completa o parcialmente ninguno de los productos (documentos, metodología, procesos y demás) relacionados con el proyecto. El estudiante asume que toda información y el resultado del proyecto serán de uso exclusivamente académico.

El material suministrado por la empresa será la base para la construcción de un estudio de caso. La información y resultado que se obtenga del mismo podrían llegar a convertirse en una herramienta didáctica que apoye la formación de los estudiantes de la Escuela de Profesional de Ingeniería Industrial.

Atentamente,

Nombre del Representante legal.


Julio Frank Huayta Ortega
JEFE DE PROYECTOS
EICM ENGINEERING GROUP S.A.C.
RUC. 20604649014

IX. ANEXOS

Anexo 1. Matriz de consistencia

Problemas	Objetivos	Hipótesis	Variables	Metodología
Problema general	Objetivo general	Hipótesis general	Independiente	Enfoque: Cuantitativo
¿En qué medida la implementación de un Plan de mantenimiento Preventivo mejora la disponibilidad de las bombas sumergibles de la empresa EICM Engineering S.A.C., 2021?	Determinar en qué medida la implementación de un Plan de mantenimiento Preventivo mejora la disponibilidad de las bombas Gorman Rupp de la empresa EICM Engineering S.A.C.	La implementación de un Plan de mantenimiento Preventivo mejora significativamente la disponibilidad de las bombas Gorman Rupp de la empresa EICM Engineering S.A.C., 2021.	Plan de mantenimiento preventivo	Alcance: aplicativo Nivel: descriptivo y explicativo Diseño: pre experimental
Problemas específicos	Objetivos específicos	Hipótesis específicas	Dependiente	Técnica: Observación
¿En qué medida la implementación de un Plan de mantenimiento Preventivo mejora la confiabilidad de las bombas sumergibles de la empresa EICM Engineering S.A.C., 2021?	Determinar en qué medida la implementación de un Plan de mantenimiento Preventivo mejora la confiabilidad de las bombas Gorman Rupp de la empresa EICM Engineering S.A.C	La implementación de un Plan de mantenimiento Preventivo mejora significativamente la confiabilidad de las bombas Gorman Rupp de la empresa EICM Engineering S.A.C	Disponibilidad Dimensiones: • Confiabilidad • Mantenibilidad	Instrumento: fichas de observación
¿En qué medida la implementación de un Plan de mantenimiento Preventivo mejora la mantenibilidad de las bombas sumergibles de la empresa EICM Engineering S.A.C., 2021?	Determinar en qué medida la implementación de un Plan de mantenimiento Preventivo mejora la mantenibilidad de las bombas Gorman Rupp de la empresa EICM Engineering S.A.C..	La implementación de un Plan de mantenimiento Preventivo mejora significativamente la mantenibilidad de las bombas Gorman Rupp de la empresa EICM Engineering S.A.C		

Anexo 2. Matriz de operacionalización de variables

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIÓN	INDICADOR	ESCALA
V. Independiente Plan de mantenimiento preventivo	Para Pérez (2021), Mantenimiento es el conjunto de tareas que consiste en mantener el equipo operativo, las tareas comprenden inspecciones, ajustes, pruebas, calibración, reinstalación y reconstrucción. El mantenimiento es una agrupación de actividades orientadas a garantizar el correcto funcionamiento de los equipos y maquinarias que forman parte del proceso productivo de una compañía, con el fin de maximizar el rendimiento de tales equipos.	Es el conjunto de acciones organizadas, cuantificadas y cotizadas que se realizan por fases de planificación, programación, ejecución y control con el propósito final de elevar los días operativos de estas.	Planificación	Nivel de mantenimientos $= \frac{N^{\circ} \text{ de acciones correctivas.}}{N^{\circ} \text{ de acciones preventivas}}$	Razón
			Programación	% Cumplimiento de Horas de Mantenimiento $= \frac{\text{Horas del Mantenimiento Ejecutadas.}}{\text{Horas de Mantenimiento Programadas}} \times 100\%$	Razón
			Ejecución	Mantenimientos ejecutados= $\frac{\text{Horas de Mtto. Correctivo}}{\text{Horas de Mtto. Preventivo}}$	Razón
			Control	Control $= \frac{\text{Actividades realizadas}}{\text{Actividades programadas}} \times 100\%$	Razón
V. Dependiente Disponibilidad	Desde el punto de vista del mantenimiento, la disponibilidad es el objetivo principal de un plan de mantenimiento que se realiza a un conjunto, planta o maquinaria, teniendo en cuenta ciertos factores como determinantes y limitantes, ellos son el costo, el tiempo, las capacidades de las personas (Cárcel, 2016) Dentro de la disponibilidad se encuentran dos factores el tiempo promedio entre fallas (TPEF) y el tiempo medio de reparación (TMR) y se calcula como la proporción del primero sobre la suma de ambos (Prager, 2018).	Se reconoce como la proporción del tiempo que se mantuvieron operativas las bombas sumergibles Gorman Rupp sobre el tiempo total que es la suma del tiempo operativo y el tiempo en que estuvieron en reparación.	Confiabilidad	$TPEF = \frac{\text{Horas totales en servicio}}{\text{Cantidad de fallas reportadas}}$	Razón
			Mantenibilidad	$TMR = \frac{\text{Horas de mantto}}{\text{Cantidad de fallas}}$	

--	--	--	--	--	--

Anexo 3. Instrumentos de recolección de datos de la variable independiente

Variable independiente: Plan de mantenimiento

Dimensión 1 Planificación

Empresa:						
Unidad:						
Máquina: Bomba sumergible Gorman Rupp						
Código Máquina	Componente	Fecha	Reparación	Presupuesto	Tiempo planificado	Elaborado por

Dimensión 2: Programación

Empresa :						
Unidad:						
Máquina: Bomba sumergible Gorman Rupp						
Fecha	Máquina	Componente	Hora	Duración	Tipo de tarea	Elaborado por

Dimensión 3: Ejecución

Empresa :							
Unidad:							
Máquina:	Bomba sumergible Gorman Rupp						
Código Máquina	Compon ente	Fecha	Modo de falla	Naturaleza (Preventiva/Correctiva)	Tarea de reparación	Suministros	Elaborado por

Dimensión 4: Control

Empresa:							
Unidad:							
Máquina:	Bomba sumergible Gorman Rupp						
Fecha	Máquina	Componente	Hora	Elaborado por	Verificador	Cumplimiento	Observaciones

Anexo 4. Instrumentos de recolección de datos de la variable dependiente

Variable dependiente: Confiabilidad

Dimensión 1: Fiabilidad

Tiempo promedio entre fallas (TPEF)

Empresa:							
Unidad:							
Máquina: Bomba sumergible Gorman Rupp							
Código Máquina	Componente	Reparación	Fecha de prendido	Hora de prendido	Fecha de fallo	Hora de fallo	Tiempo operativo

Dimensión 2: Mantenibilidad

Tiempo medio de reparación (TMR)

Empresa:							
Unidad:							
Máquina: Bomba sumergible Gorman Rupp							
Código Máquina	Componente	Modo de falla	Fecha de paro	Hora de paro	Fecha de prendido	Hora de prendido	Tiempo de reparación

Anexo 5. Validación de juicio de expertos



CARTA DE PRESENTACIÓN

Señor: Mg. Romel Darío Bazán Robles

Presente

Asunto: VALIDACIÓN DE INSTRUMENTOS A TRAVÉS DE JUICIO DE EXPERTO.

Nos es muy grato comunicarnos con usted para expresarle nuestro saludo y así mismo, hacer de su conocimiento que yo; **Castro Condori, Pedro César** de la escuela profesional de Ingeniería Industrial en la sede Lima Este, requiero validar los instrumentos con los cuales recogeré información necesaria para poder desarrollar nuestra investigación y con la cual optare el Título Profesional.

El título de mi tesis de investigación es: “**Implementación de un Plan de mantenimiento Preventivo para la mejora de la disponibilidad de bombas sumergibles en la Empresa EICM Engineering Group S.A.C.**” ubicado en la Av. Lambramani 114 Cercado en la Ciudad de Arequipa y siendo imprescindible contar con la aprobación de docentes especializados para poder aplicar los instrumentos en mención, he considerado conveniente recurrir a usted, ante su connotada experiencia en temas educativos y/o investigación educativa.

El expediente de validación, que le hacemos llegar contiene:

- Carta de presentación.
- Definiciones conceptuales de las variables y dimensiones.
- Matriz de operacionalización de las variables.
- Certificado de validez de contenido de los instrumentos.

Expresándole mis sentimientos de respeto y consideración me despido de usted, no sin antes agradecerle por la atención que dispense a la presente.

Atentamente.

Pedro César Castro Condori

D.N.I: 29607410



TÍTULO: " Implementación de un Plan de un Mantenimiento Preventivo para la mejora de la disponibilidad de bombas sumergibles en la Empresa EICM Engineering Group S.A.C. "

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIÓN	INDICADOR	ESCALA
V. Independiente Plan de mantenimiento	Para Pérez (2021) Mantenimiento es el conjunto de tareas que consiste en mantener el equipo operativo, las tareas comprenden inspecciones, ajustes, pruebas, calibración, reinstalación y reconstrucción. El mantenimiento es una agrupación de actividades orientadas a garantizar el correcto funcionamiento de los equipos y maquinarias que forman parte del proceso productivo de una compañía, con el fin de maximizar el rendimiento de tales equipos.	Es el conjunto de acciones organizadas, cuantificadas y cotizadas que se plantean implementar sobre las bombas sumergibles Gorman Rupp con el propósito final de elevar los días operativos de estas.	Planificación	Nivel de mantenimientos $= \frac{N^{\circ} \text{ de acciones correctivas}}{N^{\circ} \text{ de acciones preventivas}}$	Nominal
			Programación	% Cumplimiento de Horas de Mantenimiento $= \frac{\text{Horas del Mantenimiento Ejecutadas}}{\text{Horas de Mantenimiento Programadas}} \times 100$	Razón
			Ejecución	Mantenimientos ejecutados $= \frac{\text{Horas de Mito. Correctivo} + \text{Horas de Mito. Preventivo}}$	Razón
			Control	Control $= \frac{\text{Actividades realizadas}}{\text{Actividades programadas}} \times 100$	Razón
V. Dependiente Disponibilidad	Desde el punto de vista del mantenimiento, la disponibilidad es el objetivo principal de un plan de mantenimiento que se realiza a un conjunto, planta o maquinaria, teniendo en cuenta ciertos factores como determinantes y limitantes, ellos son el costo, el tiempo, las capacidades de las personas (Cárcel, 2016). Dentro de la disponibilidad se encuentran dos factores el tiempo promedio entre fallas (TPEF) y el tiempo medio de reparación (TMR) y se calcula como la proporción del primero sobre la suma de ambos (Mesa, Ortiz, & Pinzón, 2006)	Se reconoce como la proporción del tiempo que se mantuvieron operativas las bombas sumergibles Gorman Rupp sobre el tiempo total que es la suma del tiempo operativo y el tiempo en que estuvieron en reparación.	Confiabilidad	$TPEF = \frac{\text{Horas totales de operación}}{\text{Cantidad de fallas reportadas}}$	Razón
			Mantenibilidad	$TMR = \frac{\text{Horas de mantto. correctivo}}{\text{Cantidad de fallas}}$	

CERTIFICADO DE VALIDEZ DE CONTENIDO DEL INSTRUMENTO QUE MIDE:

VARIABLE INDEPENDIENTE: PLAN DE MANTENIMIENTO	Pertinencia		Relevancia		Claridad		Sugerencias
	Si	No	Si	No	Si	No	
DIMENSIÓN 1: Planificación							
Nivel de mantenimientos = $\frac{N^{\circ} \text{ de acciones correctivas.}}{N^{\circ} \text{ de acciones preventivas}}$	✓		✓		✓		
DIMENSIÓN 2: Programación	✓		✓		✓		
% Cumplimiento de Horas de Mantenimiento = $\frac{\text{Horas del Mantenimiento Ejecutadas.}}{\text{Horas de Mantenimiento Programadas}} \times 100$	✓		✓		✓		
DIMENSIÓN 3: Ejecución	✓		✓		✓		
Mantenimientos ejecutados = $\frac{\text{Horas de Mtto. Correctivo}}{\text{Horas de Mtto. Preventivo}}$	✓		✓		✓		
DIMENSIÓN 3: Control	✓		✓		✓		
Control = $\frac{\text{Actividades realizadas}}{\text{Actividades programadas}} \times 100$	✓		✓		✓		
VARIABLE DEPENDIENTE: DISPONIBILIDAD	✓		✓		✓		
DIMENSIÓN 1: Confiabilidad	✓		✓		✓		
$TPEF = \frac{\text{Horas totales en servicio}}{\text{Cantidad de fallas reportadas}}$	✓		✓		✓		
DIMENSIÓN 2: Mantenibilidad	✓		✓		✓		
$TMR = \frac{\text{Horas de mantto. correctivo}}{\text{Cantidad de fallas}}$	✓		✓		✓		

Observaciones (precisar si hay suficiencia): _____

Opinión de aplicabilidad: Aplicable [] Aplicable después de corregir [] No aplicable []

Apellidos y nombres del juez validador. Dr. / Mg: Romel Darío Bazán Robles **DNI: 41091024**
Especialidad del validador: Maestro en Productividad y Relaciones Industriales **INGENIERO INDUSTRIAL** **Lima 19 de mayo del 2021**

¹**Pertinencia:** El ítem corresponde al concepto teórico formulado.
²**Relevancia:** El ítem es apropiado para representar al componente o dimensión específica del constructo
³**Claridad:** Se entiende sin dificultad alguna el enunciado del ítem, es conciso, exacto y directo



Nota: Suficiencia, se dice suficiencia cuando los ítems planteados son suficientes para medir la dimensión

Firma del experto Informante

CARTA DE PRESENTACIÓN

Señor: Mg. Roberto Farfán Martínez

Presente

Asunto: VALIDACIÓN DE INSTRUMENTOS A TRAVÉS DE JUICIO DE EXPERTO.

Nos es muy grato comunicarnos con usted para expresarle nuestro saludo y así mismo, hacer de su conocimiento que yo; **Castro Condori, Pedro César** de la escuela profesional de Ingeniería Industrial en la sede Lima Este, requiero validar los instrumentos con los cuales recogeré información necesaria para poder desarrollar nuestra investigación y con la cual optare el Título Profesional.

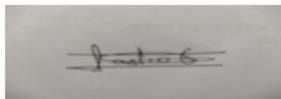
El título de mi tesis de investigación es: "**Implementación de un Plan de mantenimiento Preventivo para la mejora de la disponibilidad de bombas sumergibles en la Empresa EICM Engineering Group S.A.C.**" ubicado en la Av. Lambramani 114 Cercado en la Ciudad de Arequipa y siendo imprescindible contar con la aprobación de docentes especializados para poder aplicar los instrumentos en mención, he considerado conveniente recurrir a usted, ante su connotada experiencia en temas educativos y/o investigación educativa.

El expediente de validación, que le hacemos llegar contiene:

- Carta de presentación.
- Definiciones conceptuales de las variables y dimensiones.
- Matriz de operacionalización de las variables.
- Certificado de validez de contenido de los instrumentos.

Expresándole mis sentimientos de respeto y consideración me despido de usted, no sin antes agradecerle por la atención que dispense a la presente.

Atentamente.



Pedro César Castro Condori

D.N.I: 29607410

TITULO: " Implementación de un Plan de un Mantenimiento Preventivo para la mejora de la disponibilidad de bombas sumergibles en la Empresa EICM Engineering Group S.A.C. "

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIÓN	INDICADOR	ESCALA
V. Independiente Plan de mantenimiento	Para Pérez (2021) Mantenimiento es el conjunto de tareas que consiste en mantener el equipo operativo, las tareas comprenden inspecciones, ajustes, pruebas, calibración, reinstalación y reconstrucción. El mantenimiento es una agrupación de actividades orientadas a garantizar el correcto funcionamiento de los equipos y maquinarias que forman parte del proceso productivo de una compañía, con el fin de maximizar el rendimiento de tales equipos.	Es el conjunto de acciones organizadas, cuantificadas y cotizadas que se plantean implementar sobre las bombas sumergibles Gorman Rupp con el propósito final de elevar los días operativos de estas.	Planificación	Nivel de mantenimientos $= \frac{N^{\circ} \text{ de acciones correctivas.}}{N^{\circ} \text{ de acciones preventivas}}$	Nominal
			Programación	% Cumplimiento de Horas de Mantenimiento $= \frac{\text{Horas del Mantenimiento Ejecutadas.}}{\text{Horas de Mantenimiento Programadas}} \times 100$	Razón
			Ejecución	Mantenimientos ejecutados $= \frac{\text{Horas de Mtto. Correctivo}}{\text{Horas de Mtto. Preventivo}}$	Razón
			Control	Control $= \frac{\text{Actividades realizadas}}{\text{Actividades programadas}} \times 100$	Razón
V. Dependiente Disponibilidad	Desde el punto de vista del mantenimiento, la disponibilidad es el objetivo principal de un plan de mantenimiento que se realiza a un conjunto, planta o maquinaria, teniendo en cuenta ciertos factores como determinantes y limitantes, ellos son el costo, el tiempo, las capacidades de las personas (Cárcel, 2016) Dentro de la disponibilidad se encuentran dos factores el tiempo promedio entre fallas (TPEF) y el tiempo medio de reparación (TMR) y se calcula como la proporción del primero sobre la suma de ambos (Mesa, Ortiz, & Pinzón, 2006)	Se reconoce como la proporción del tiempo que se mantuvieron operativas las bombas sumergibles Gorman Rupp sobre el tiempo total que es la suma del tiempo operativo y el tiempo en que estuvieron en reparación.	Confiability	$TPEF = \frac{\text{Horas totales en servicio}}{\text{Cantidad de fallas reportadas}}$	Razón
			Mantenibilidad	$TMR = \frac{\text{Horas de mantto. correctivo}}{\text{Cantidad de fallas}}$	

CERTIFICADO DE VALIDEZ DE CONTENIDO DEL INSTRUMENTO QUE MIDE:

VARIABLE INDEPENDIENTE: PLAN DE MANTENIMIENTO	Pertinencia		Relevancia		Claridad		Sugerencias
	Si	No	Si	No	Si	No	
DIMENSIÓN 1: Planificación							
Nivel de mantenimientos $= \frac{N^{\circ} \text{ de acciones correctivas.}}{N^{\circ} \text{ de acciones preventivas}}$	X		X		X		
DIMENSIÓN 2: Programación							
% Cumplimiento de Horas de Mantenimiento $= \frac{\text{Horas del Mantenimiento Ejecutadas.}}{\text{Horas de Mantenimiento Programadas}} \times 100$	X		X		X		
DIMENSIÓN 3: Ejecución							
Mantenimientos ejecutados $= \frac{\text{Horas de Mtto. Correctivo}}{\text{Horas de Mtto. Preventivo}}$	X		X		X		
DIMENSIÓN 3: Control							
Control $= \frac{\text{Actividades realizadas}}{\text{Actividades programadas}} \times 100$	X		X		X		
VARIABLE DEPENDIENTE: DISPONIBILIDAD							
DIMENSIÓN 1: Confiability							
$TPEF = \frac{\text{Horas totales en servicio}}{\text{Cantidad de fallas reportadas}}$	X		X		X		
DIMENSIÓN 2: Mantenibilidad							
$TMR = \frac{\text{Horas de mantto. correctivo}}{\text{Cantidad de fallas}}$	X		X		X		

Observaciones (precisar si hay suficiencia): _____ SI HAY SUFICIENCIA _____

Opinión de aplicabilidad: Aplicable [X] Aplicable después de corregir [X] No aplicable []

Apellidos y nombres del juez validador. Mg: Roberto Farfán Martínez DNI: 02617808

Especialidad del validador: MAESTRO EN GERENCIA DE PROYECTOS DE INGENIERÍA

Lima 19 de junio del 2021

¹**Pertinencia:** El ítem corresponde al concepto teórico formulado.

²**Relevancia:** El ítem es apropiado para representar al componente o dimensión específica del constructo

³**Claridad:** Se entiende sin dificultad alguna el enunciado del ítem, es conciso, exacto y directo

Nota: Suficiencia, se dice suficiencia cuando los ítems planteados son suficientes para medir la dimensión



Firma del experto Informante

CARTA DE PRESENTACIÓN

Señor: Mg. Roberto Carlos Conde Rosas

Presente

Asunto: VALIDACIÓN DE INSTRUMENTOS A TRAVÉS DE JUICIO DE EXPERTO.

Nos es muy grato comunicarnos con usted para expresarle nuestro saludo y así mismo, hacer de su conocimiento que yo; **Castro Condori, Pedro César** de la escuela profesional de Ingeniería Industrial en la sede Lima Este, requiero validar los instrumentos con los cuales recogeré información necesaria para poder desarrollar nuestra investigación y con la cual optare el Título Profesional.

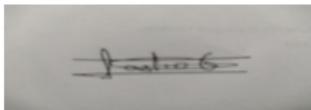
El título de mi tesis de investigación es: **“Implementación de un Plan de mantenimiento Preventivo para la mejora de la disponibilidad de bombas sumergibles en la Empresa EICM Engineering Group S.A.C.”** ubicado en la Av. Lambramani 114 Cercado en la Ciudad de Arequipa y siendo imprescindible contar con la aprobación de docentes especializados para poder aplicar los instrumentos en mención, he considerado conveniente recurrir a usted, ante su connotada experiencia en temas educativos y/o investigación educativa.

El expediente de validación, que le hacemos llegar contiene:

- Carta de presentación.
- Definiciones conceptuales de las variables y dimensiones.
- Matriz de operacionalización de las variables.
- Certificado de validez de contenido de los instrumentos.

Expresándole mis sentimientos de respeto y consideración me despido de usted, no sin antes agradecerle por la atención que dispense a la presente.

Atentamente.



Pedro César Castro Condori

D.N.I: 29607410

TITULO: " Implementación de un Plan de un Mantenimiento Preventivo para la mejora de la disponibilidad de bombas sumergibles en la Empresa EICM Engineering Group S.A.C. "

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIÓN	INDICADOR	ESCALA
V. Independiente Plan de mantenimiento	Para Pérez (2021) Mantenimiento es el conjunto de tareas que consiste en mantener el equipo operativo, las tareas comprenden inspecciones, ajustes, pruebas, calibración, reinstalación y reconstrucción. El mantenimiento es una agrupación de actividades orientadas a garantizar el correcto funcionamiento de los equipos y maquinarias que forman parte del proceso productivo de una compañía, con el fin de maximizar el rendimiento de tales equipos.	Es el conjunto de acciones organizadas, cuantificadas y cotizadas que se plantean implementar sobre las bombas sumergibles Gorman Rupp con el propósito final de elevar los días operativos de estas.	Planificación	Nivel de mantenimientos $= \frac{N^{\circ} \text{ de acciones correctivas.}}{N^{\circ} \text{ de acciones preventivas}}$	Nominal
			Programación	% Cumplimiento de Horas de Mantenimiento $= \frac{\text{Horas del Mantenimiento Ejecutadas.}}{\text{Horas de Mantenimiento Programadas}} \times 100$	Razón
			Ejecución	Mantenimientos ejecutados $= \frac{\text{Horas de Mtto. Correctivo}}{\text{Horas de Mtto. Preventivo}}$	Razón
			Control	Control $= \frac{\text{Actividades realizadas}}{\text{Actividades programadas}} \times 100$	Razón
V. Dependiente Disponibilidad	Desde el punto de vista del mantenimiento, la disponibilidad es el objetivo principal de un plan de mantenimiento que se realiza a un conjunto, planta o maquinaria, teniendo en cuenta ciertos factores como determinantes y limitantes, ellos son el costo, el tiempo, las capacidades de las personas (Cárcel, 2016) Dentro de la disponibilidad se encuentran dos factores el tiempo promedio entre fallas (TPEF) y el tiempo medio de reparación (TMR) y se calcula como la proporción del primero sobre la suma de ambos (Mesa, Ortiz, & Pinzón, 2006)	Se reconoce como la proporción del tiempo que se mantuvieron operativas las bombas sumergibles Gorman Rupp sobre el tiempo total que es la suma del tiempo operativo y el tiempo en que estuvieron en reparación.	Confiabilidad	$TPEF = \frac{\text{Horas totales en servicio}}{\text{Cantidad de fallas reportadas}}$	Razón
			Mantenibilidad	$TMR = \frac{\text{Horas de mantto. correctivo}}{\text{Cantidad de fallas}}$	

CERTIFICADO DE VALIDEZ DE CONTENIDO DEL INSTRUMENTO QUE MIDE:

VARIABLE INDEPENDIENTE: PLAN DE MANTENIMIENTO	Pertinencia		Relevancia		Claridad		Sugerencias
	Si	No	Si	No	Si	No	
DIMENSIÓN 1: Planificación	Si	No	Si	No	Si	No	
Nivel de mantenimientos $= \frac{N^{\circ} \text{ de acciones correctivas.}}{N^{\circ} \text{ de acciones preventivas}}$	✓		✓		✓		
DIMENSIÓN 2: Programación	✓		✓		✓		
% Cumplimiento de Horas de Mantenimiento $= \frac{\text{Horas del Mantenimiento Ejecutadas.}}{\text{Horas de Mantenimiento Programadas}} \times 100$	✓		✓		✓		
DIMENSIÓN 3: Ejecución	✓		✓		✓		
Mantenimientos ejecutados $= \frac{\text{Horas de Mtto. Correctivo}}{\text{Horas de Mtto. Preventivo}}$	✓		✓		✓		
DIMENSIÓN 3: Control	✓		✓		✓		
Control $= \frac{\text{Actividades realizadas}}{\text{Actividades programadas}} \times 100$	✓		✓		✓		
VARIABLE DEPENDIENTE: DISPONIBILIDAD	✓		✓		✓		
DIMENSIÓN 1: Confiabilidad	✓		✓		✓		
$TPEF = \frac{\text{Horas totales en servicio}}{\text{Cantidad de fallas reportadas}}$	✓		✓		✓		
DIMENSIÓN 2: Mantenibilidad	✓		✓		✓		
$TMR = \frac{\text{Horas de mantto. correctivo}}{\text{Cantidad de fallas}}$	✓		✓		✓		

Observaciones (precisar si hay suficiencia): _____

Opinión de aplicabilidad: Aplicable [X] Aplicable después de corregir [] No aplicable []

Apellidos y nombres del juez validador: Dr. / Mg: Roberto Carlos Conde Rosas DNI: 09447944

Especialidad del validador: MAGISTER EN DIRECCION DE OPERACIONES Y LOGISTICA

Lima 19 de mayo del 2021



Firma del experto Informante

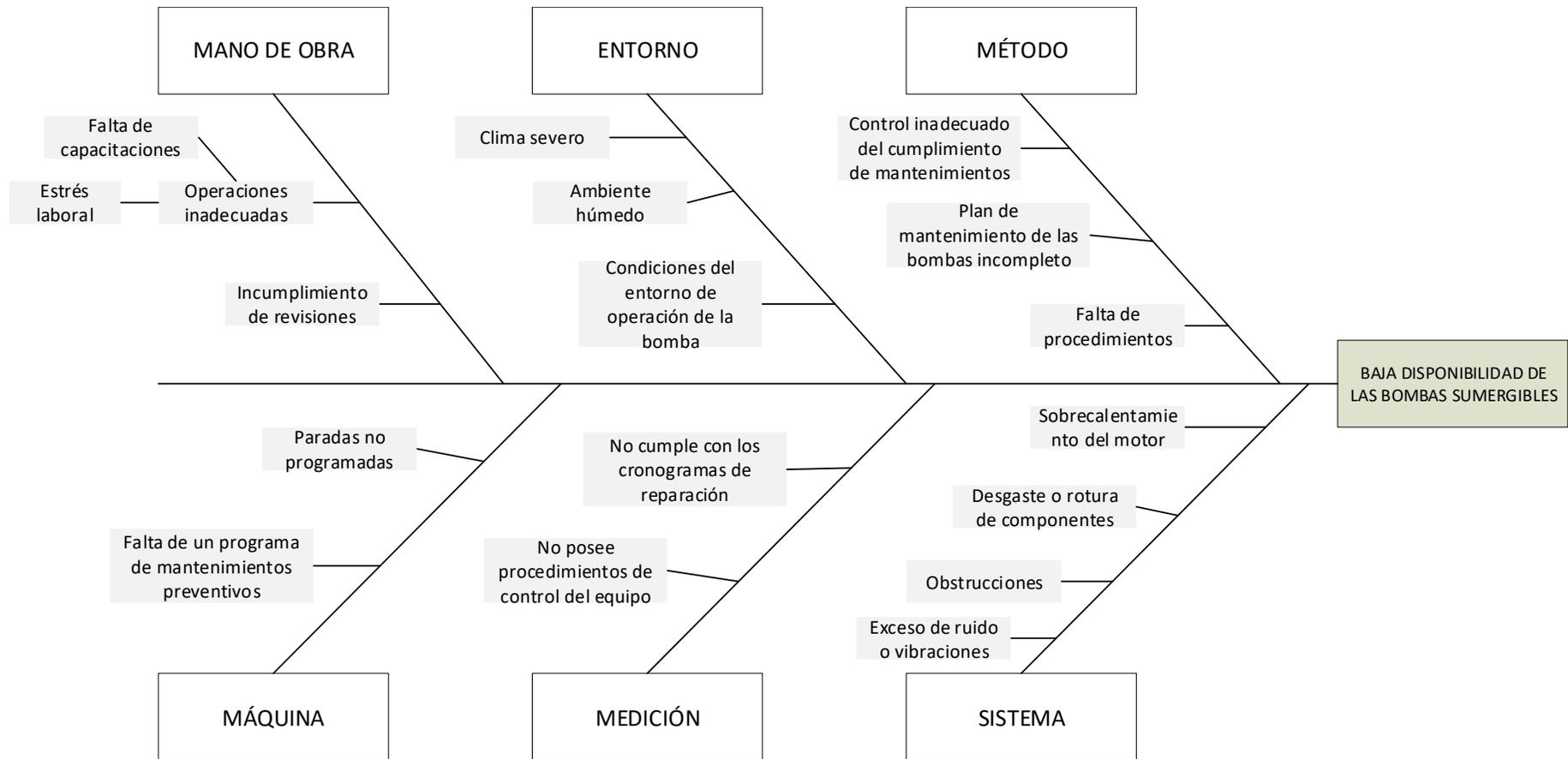
¹**Pertinencia:** El ítem corresponde al concepto teórico formulado.

²**Relevancia:** El ítem es apropiado para representar al componente o dimensión específica del constructo

³**Claridad:** Se entiende sin dificultad alguna el enunciado del ítem, es conciso, exacto y directo

Nota: Suficiencia, se dice suficiencia cuando los ítems planteados son suficientes para medir la dimensión

Anexo 6. Diagrama de Ishikawa



Anexo 7. Base de datos

Semana	Máquina	Falla	Fecha	Tipo de mantenimiento	Horas
Semana 1	Bomba 1	Falla en el voltaje del disyuntor	4/01/2021	Correctivo	10.0
Semana 1	Bomba 2	Falla en las bobinas	4/01/2021	Preventivo	10.7
Semana 1	Bomba 3	Falla en el sentido del impulsor	7/01/2021	Correctivo	13.0
Semana 1	Bomba 4	Falla por desgaste de paletas del impulsor	7/01/2021	Correctivo	14.0
Semana 1	Bomba 5	Falla por obstrucción del impulsor	8/01/2021	Preventivo	8.1
Semana 1	Bomba 6	Falla en el impulsor por deterioro	9/01/2021	Correctivo	25.0
Semana 1	Bomba 7	Falla por congelamiento del rodamiento	6/01/2021	Correctivo	14.0
Semana 1	Bomba 8	Falla en el eje del rotor	7/01/2021	Correctivo	18.6
Semana 1	Bomba 9	Falla en el eje o cojines	4/01/2021	Preventivo	12.3
Semana 1	Bomba 10	Falla por funcionamiento incorrecto en los sellos	10/01/2021	Correctivo	20.6
Semana 1	Bomba 11	Falla por desgaste en los sellos de la bomba	4/01/2021	Correctivo	21.7
Semana 1	Bomba 12	Falla en la cabeza de descarga	5/01/2021	Preventivo	12.9
Semana 1	Bomba 13	Falla de la línea de descarga	9/01/2021	Correctivo	23.8
Semana 1	Bomba 14	Falla en la válvula de estrangulamiento de descarga	6/01/2021	Correctivo	24.8
Semana 1	Bomba 15	Falla en la válvula de retención	6/01/2021	Preventivo	13.1
Semana 1	Bomba 16	Obstrucción de la rejilla	9/01/2021	Correctivo	26.9
Semana 1	Bomba 17	No se proporciona una sobrecarga o protección	5/01/2021	Correctivo	27.9
Semana 1	Bomba 18	Falla en el voltaje de la caja de control	7/01/2021	Preventivo	13.0
Semana 1	Bomba 19	Falla en los niveles de líquido del sumidero	8/01/2021	Correctivo	12.0
Semana 1	Bomba 20	Falla en los niveles de líquido	10/01/2021	Correctivo	31.0
Semana 1	Bomba 21	Falla en el voltaje del disyuntor	5/01/2021	Correctivo	32.0
Semana 1	Bomba 22	Falla en las bobinas	6/01/2021	Preventivo	12.2
Semana 1	Bomba 23	Falla en el sentido del impulsor	7/01/2021	Correctivo	34.1
Semana 1	Bomba 24	Falla en el eje del rotor	4/01/2021	Correctivo	35.1
Semana 1	Bomba 25	Falla en el eje o cojines	10/01/2021	Preventivo	11.2
Semana 1	Bomba 26	Falla por funcionamiento incorrecto en los sellos	6/01/2021	Preventivo	10.8
Semana 1	Bomba 27	Falla por desgaste en los sellos de la bomba	7/01/2021	Correctivo	38.3
Semana 1	Bomba 28	Falla en la cabeza de descarga	10/01/2021	Preventivo	9.9
Semana 1	Bomba 29	Falla de la línea de descarga	5/01/2021	Correctivo	10.0
Semana 1	Bomba 30	Obstrucción de la rejilla	9/01/2021	Correctivo	5.0
Semana 1	Bomba 31	No se proporciona una sobrecarga o protección	10/01/2021	Preventivo	5.8
Semana 2	Bomba 1	Falla en el voltaje del disyuntor	11/01/2021	Correctivo	31.0
Semana 2	Bomba 2	Falla en las bobinas	17/01/2021	Preventivo	12.8
Semana 2	Bomba 3	Falla en el sentido del impulsor	16/01/2021	Correctivo	19.0
Semana 2	Bomba 4	Falla por desgaste de paletas del impulsor	13/01/2021	Correctivo	16.0
Semana 2	Bomba 5	Falla por obstrucción del impulsor	13/01/2021	Preventivo	7.4
Semana 2	Bomba 6	Falla en el impulsor por deterioro	13/01/2021	Correctivo	39.0
Semana 2	Bomba 7	Falla por congelamiento del rodamiento	13/01/2021	Correctivo	32.0
Semana 2	Bomba 8	Falla en el eje del rotor	11/01/2021	Correctivo	5.0
Semana 2	Bomba 9	Falla en el eje o cojines	14/01/2021	Preventivo	12.2
Semana 2	Bomba 10	Falla por funcionamiento incorrecto en los sellos	13/01/2021	Correctivo	31.0
Semana 2	Bomba 11	Falla por desgaste en los sellos de la bomba	12/01/2021	Correctivo	31.0
Semana 2	Bomba 12	Falla en la cabeza de descarga	13/01/2021	Preventivo	10.0

Semana 2	Bomba 13	Falla de la línea de descarga	13/01/2021	Correctivo	25.0
Semana 2	Bomba 14	Falla en el eje o cojines	16/01/2021	Correctivo	16.0
Semana 2	Bomba 15	Falla por funcionamiento incorrecto en los sellos	15/01/2021	Preventivo	12.8
Semana 2	Bomba 16	Falla por desgaste en los sellos de la bomba	12/01/2021	Correctivo	14.0
Semana 2	Bomba 17	Falla en la cabeza de descarga	13/01/2021	Correctivo	32.0
Semana 2	Bomba 18	Falla de la línea de descarga	12/01/2021	Preventivo	12.0
Semana 2	Bomba 19	Obstrucción de la rejilla	13/01/2021	Correctivo	15.0
Semana 2	Bomba 20	No se proporciona una sobrecarga o protección	13/01/2021	Correctivo	4.0
Semana 2	Bomba 21	Falla en el voltaje del disyuntor	14/01/2021	Correctivo	6.0
Semana 2	Bomba 22	Falla en las bobinas	17/01/2021	Preventivo	9.0
Semana 2	Bomba 23	Falla en el sentido del impulsor	16/01/2021	Correctivo	26.0
Semana 2	Bomba 24	Falla por desgaste de paletas del impulsor	11/01/2021	Correctivo	37.0
Semana 2	Bomba 25	Falla por obstrucción del impulsor	11/01/2021	Preventivo	7.4
Semana 2	Bomba 26	Falla en el impulsor por deterioro	16/01/2021	Preventivo	12.4
Semana 2	Bomba 27	Falla por congelamiento del rodamiento	11/01/2021	Correctivo	23.0
Semana 2	Bomba 28	Falla en el eje del rotor	13/01/2021	Preventivo	9.5
Semana 2	Bomba 29	Falla en el eje o cojines	12/01/2021	Correctivo	32.0
Semana 2	Bomba 30	Obstrucción de la rejilla	11/01/2021	Correctivo	38.0
Semana 2	Bomba 31	No se proporciona una sobrecarga o protección	17/01/2021	Preventivo	11.6
Semana 3	Bomba 1	Falla en el voltaje del disyuntor	18/01/2021	Correctivo	5.0
Semana 3	Bomba 2	Falla en las bobinas	24/01/2021	Preventivo	7.0
Semana 3	Bomba 3	Falla en el sentido del impulsor	20/01/2021	Correctivo	12.0
Semana 3	Bomba 4	Falla por desgaste de paletas del impulsor	18/01/2021	Correctivo	9.0
Semana 3	Bomba 5	Falla por obstrucción del impulsor	21/01/2021	Preventivo	11.0
Semana 3	Bomba 6	Falla en el impulsor por deterioro	20/01/2021	Correctivo	18.0
Semana 3	Bomba 7	Falla por congelamiento del rodamiento	21/01/2021	Correctivo	8.0
Semana 3	Bomba 8	Falla en el eje del rotor	18/01/2021	Correctivo	5.0
Semana 3	Bomba 9	Falla en la cabeza de descarga	23/01/2021	Preventivo	11.0
Semana 3	Bomba 10	Falla de la línea de descarga	23/01/2021	Correctivo	20.0
Semana 3	Bomba 11	Falla en el eje o cojines	23/01/2021	Correctivo	6.0
Semana 3	Bomba 12	Falla por funcionamiento incorrecto en los sellos	18/01/2021	Preventivo	9.0
Semana 3	Bomba 13	Falla por desgaste en los sellos de la bomba	23/01/2021	Correctivo	17.0
Semana 3	Bomba 14	Falla en la cabeza de descarga	21/01/2021	Correctivo	10.0
Semana 3	Bomba 15	Falla de la línea de descarga	23/01/2021	Preventivo	13.0
Semana 3	Bomba 16	Obstrucción de la rejilla	24/01/2021	Correctivo	6.0
Semana 3	Bomba 17	No se proporciona una sobrecarga o protección	21/01/2021	Correctivo	5.0
Semana 3	Bomba 18	Falla en el voltaje de la caja de control	23/01/2021	Preventivo	4.0
Semana 3	Bomba 19	Falla en los niveles de líquido del sumidero	20/01/2021	Correctivo	11.0
Semana 3	Bomba 20	Falla en los niveles de líquido	24/01/2021	Correctivo	9.0
Semana 3	Bomba 21	Falla en la cabeza de descarga	18/01/2021	Correctivo	18.0
Semana 3	Bomba 22	Falla de la línea de descarga	24/01/2021	Preventivo	13.0
Semana 3	Bomba 23	Falla en el eje o cojines	18/01/2021	Correctivo	6.0
Semana 3	Bomba 24	Falla por funcionamiento incorrecto en los sellos	22/01/2021	Correctivo	10.0
Semana 3	Bomba 25	Falla por desgaste en los sellos de la bomba	20/01/2021	Preventivo	5.0
Semana 3	Bomba 26	Falla en la cabeza de descarga	21/01/2021	Preventivo	15.0
Semana 3	Bomba 27	Falla de la línea de descarga	21/01/2021	Correctivo	12.0
Semana 3	Bomba 28	Obstrucción de la rejilla	22/01/2021	Preventivo	10.0
Semana 3	Bomba 29	Falla de la línea de descarga	24/01/2021	Correctivo	10.0
Semana 3	Bomba 30	Obstrucción de la rejilla	24/01/2021	Correctivo	17.0
Semana 3	Bomba 31	No se proporciona una sobrecarga o protección	20/01/2021	Preventivo	5.0

Semana 4	Bomba 1	Falla en el voltaje del disyuntor	25/01/2021	Correctivo	12.0
Semana 4	Bomba 2	Falla en las bobinas	31/01/2021	Preventivo	5.0
Semana 4	Bomba 3	Falla en el sentido del impulsor	27/01/2021	Correctivo	19.0
Semana 4	Bomba 4	Falla en la cabeza de descarga	27/01/2021	Correctivo	4.0
Semana 4	Bomba 5	Falla de la línea de descarga	26/01/2021	Preventivo	10.0
Semana 4	Bomba 6	Falla en el eje o cojines	30/01/2021	Correctivo	20.0
Semana 4	Bomba 7	Falla por funcionamiento incorrecto en los sellos	26/01/2021	Correctivo	20.0
Semana 4	Bomba 8	Falla por desgaste en los sellos de la bomba	28/01/2021	Correctivo	12.0
Semana 4	Bomba 9	Falla en la cabeza de descarga	28/01/2021	Preventivo	16.0
Semana 4	Bomba 10	Falla de la línea de descarga	25/01/2021	Correctivo	7.0
Semana 4	Bomba 11	Obstrucción de la rejilla	29/01/2021	Correctivo	13.0
Semana 4	Bomba 12	Falla en la cabeza de descarga	31/01/2021	Preventivo	17.0
Semana 4	Bomba 13	Falla en la cabeza de descarga	30/01/2021	Correctivo	6.0
Semana 4	Bomba 14	Falla de la línea de descarga	30/01/2021	Correctivo	4.0
Semana 4	Bomba 15	Falla en el eje o cojines	26/01/2021	Preventivo	13.0
Semana 4	Bomba 16	Falla por funcionamiento incorrecto en los sellos	31/01/2021	Correctivo	5.0
Semana 4	Bomba 17	Falla por desgaste en los sellos de la bomba	25/01/2021	Correctivo	5.0
Semana 4	Bomba 18	Falla en la cabeza de descarga	29/01/2021	Preventivo	9.0
Semana 4	Bomba 19	Falla de la línea de descarga	27/01/2021	Correctivo	13.0
Semana 4	Bomba 20	Obstrucción de la rejilla	27/01/2021	Correctivo	8.0
Semana 4	Bomba 21	Falla de la línea de descarga	26/01/2021	Correctivo	9.0
Semana 4	Bomba 22	Obstrucción de la rejilla	31/01/2021	Preventivo	6.0
Semana 4	Bomba 23	No se proporciona una sobrecarga o protección	25/01/2021	Correctivo	14.0
Semana 4	Bomba 24	Falla en el voltaje del disyuntor	27/01/2021	Correctivo	4.0
Semana 4	Bomba 25	Falla en las bobinas	28/01/2021	Preventivo	13.0
Semana 4	Bomba 26	Falla en el sentido del impulsor	30/01/2021	Preventivo	19.0
Semana 4	Bomba 27	Falla por desgaste en los sellos de la bomba	31/01/2021	Correctivo	4.0
Semana 4	Bomba 28	Falla en la cabeza de descarga	31/01/2021	Preventivo	17.0
Semana 4	Bomba 29	Falla de la línea de descarga	26/01/2021	Correctivo	8.0
Semana 4	Bomba 30	Obstrucción de la rejilla	27/01/2021	Correctivo	8.0
Semana 4	Bomba 31	No se proporciona una sobrecarga o protección	30/01/2021	Preventivo	20.0
Semana 5	Bomba 1	Falla en el voltaje del disyuntor	1/02/2021	Correctivo	18.0
Semana 5	Bomba 2	Falla en las bobinas	7/02/2021	Preventivo	19.0
Semana 5	Bomba 3	Falla en el sentido del impulsor	2/02/2021	Correctivo	8.0
Semana 5	Bomba 4	Falla por desgaste de paletas del impulsor	6/02/2021	Correctivo	6.0
Semana 5	Bomba 5	Falla por obstrucción del impulsor	6/02/2021	Preventivo	10.0
Semana 5	Bomba 6	Falla en el impulsor por deterioro	6/02/2021	Correctivo	7.0
Semana 5	Bomba 7	Falla por congelamiento del rodamiento	6/02/2021	Correctivo	18.0
Semana 5	Bomba 8	Falla en el eje del rotor	3/02/2021	Correctivo	5.0
Semana 5	Bomba 9	Falla en el eje o cojines	6/02/2021	Preventivo	16.0
Semana 5	Bomba 10	Falla por funcionamiento incorrecto en los sellos	7/02/2021	Correctivo	8.0
Semana 5	Bomba 11	Falla por desgaste en los sellos de la bomba	3/02/2021	Correctivo	10.0
Semana 5	Bomba 12	Falla en la cabeza de descarga	3/02/2021	Preventivo	13.0
Semana 5	Bomba 13	Falla en la cabeza de descarga	2/02/2021	Correctivo	4.0
Semana 5	Bomba 14	Falla de la línea de descarga	4/02/2021	Correctivo	10.0
Semana 5	Bomba 15	Falla en el eje o cojines	6/02/2021	Preventivo	11.0
Semana 5	Bomba 16	Falla por funcionamiento incorrecto en los sellos	4/02/2021	Correctivo	20.0
Semana 5	Bomba 17	Falla por desgaste en los sellos de la bomba	5/02/2021	Correctivo	7.0
Semana 5	Bomba 18	Falla en la cabeza de descarga	1/02/2021	Preventivo	8.0
Semana 5	Bomba 19	Falla de la línea de descarga	7/02/2021	Correctivo	10.0
Semana 5	Bomba 20	Obstrucción de la rejilla	4/02/2021	Correctivo	4.0
Semana 5	Bomba 21	Falla de la línea de descarga	5/02/2021	Correctivo	19.0

Semana 5	Bomba 22	Obstrucción de la rejilla	3/02/2021	Preventivo	5.0
Semana 5	Bomba 23	No se proporciona una sobrecarga o protección	6/02/2021	Correctivo	11.0
Semana 5	Bomba 24	Falla en el voltaje del disyuntor	5/02/2021	Correctivo	19.0
Semana 5	Bomba 25	Falla en las bobinas	7/02/2021	Preventivo	20.0
Semana 5	Bomba 26	Falla en el sentido del impulsor	1/02/2021	Preventivo	4.0
Semana 5	Bomba 27	Falla por desgaste en los sellos de la bomba	6/02/2021	Correctivo	18.0
Semana 5	Bomba 28	Falla en la cabeza de descarga	4/02/2021	Preventivo	5.0
Semana 5	Bomba 29	Falla de la línea de descarga	5/02/2021	Correctivo	18.0
Semana 5	Bomba 30	Obstrucción de la rejilla	4/02/2021	Correctivo	19.0
Semana 5	Bomba 31	No se proporciona una sobrecarga o protección	5/02/2021	Preventivo	18.0
Semana 6	Bomba 1	Falla en el voltaje del disyuntor	8/02/2021	Correctivo	8.0
Semana 6	Bomba 2	Falla en las bobinas	14/02/2021	Preventivo	17.0
Semana 6	Bomba 3	Falla en el sentido del impulsor	9/02/2021	Correctivo	14.0
Semana 6	Bomba 4	Falla por desgaste de paletas del impulsor	8/02/2021	Correctivo	17.0
Semana 6	Bomba 5	Falla por obstrucción del impulsor	13/02/2021	Preventivo	5.0
Semana 6	Bomba 6	Falla en el impulsor por deterioro	11/02/2021	Correctivo	4.0
Semana 6	Bomba 7	Falla por congelamiento del rodamiento	8/02/2021	Correctivo	15.0
Semana 6	Bomba 8	Falla en el eje del rotor	8/02/2021	Correctivo	9.0
Semana 6	Bomba 9	Falla en el eje o cojines	11/02/2021	Preventivo	6.0
Semana 6	Bomba 10	Falla por funcionamiento incorrecto en los sellos	12/02/2021	Correctivo	8.0
Semana 6	Bomba 11	Falla por desgaste en los sellos de la bomba	10/02/2021	Correctivo	9.0
Semana 6	Bomba 12	Falla en la cabeza de descarga	8/02/2021	Preventivo	13.0
Semana 6	Bomba 13	Falla de la línea de descarga	11/02/2021	Correctivo	15.0
Semana 6	Bomba 14	Falla en la válvula de estrangulamiento de desca	12/02/2021	Correctivo	11.0
Semana 6	Bomba 15	Falla en la válvula de retención	9/02/2021	Preventivo	9.0
Semana 6	Bomba 16	Obstrucción de la rejilla	14/02/2021	Correctivo	6.0
Semana 6	Bomba 17	Falla en la cabeza de descarga	8/02/2021	Correctivo	15.0
Semana 6	Bomba 18	Falla de la línea de descarga	13/02/2021	Preventivo	8.0
Semana 6	Bomba 19	Falla en el eje o cojines	11/02/2021	Correctivo	14.0
Semana 6	Bomba 20	Falla por funcionamiento incorrecto en los sellos	8/02/2021	Correctivo	5.0
Semana 6	Bomba 21	Falla por desgaste en los sellos de la bomba	9/02/2021	Correctivo	19.0
Semana 6	Bomba 22	Falla en la cabeza de descarga	12/02/2021	Preventivo	20.0
Semana 6	Bomba 23	Falla de la línea de descarga	9/02/2021	Correctivo	16.0
Semana 6	Bomba 24	Obstrucción de la rejilla	14/02/2021	Correctivo	8.0
Semana 6	Bomba 25	Falla de la línea de descarga	14/02/2021	Preventivo	12.0
Semana 6	Bomba 26	Obstrucción de la rejilla	12/02/2021	Preventivo	11.0
Semana 6	Bomba 27	Falla en el sentido del impulsor	10/02/2021	Correctivo	17.0
Semana 6	Bomba 28	Falla por desgaste de paletas del impulsor	14/02/2021	Preventivo	13.0
Semana 6	Bomba 29	Falla por obstrucción del impulsor	8/02/2021	Correctivo	15.0
Semana 6	Bomba 30	Falla en el impulsor por deterioro	9/02/2021	Correctivo	8.0
Semana 6	Bomba 31	Falla por congelamiento del rodamiento	10/02/2021	Preventivo	6.0
Semana 7	Bomba 1	Falla en el eje del rotor	15/02/2021	Correctivo	14.0
Semana 7	Bomba 2	Falla en el eje o cojines	21/02/2021	Preventivo	4.0
Semana 7	Bomba 3	Falla por funcionamiento incorrecto en los sellos	21/02/2021	Correctivo	17.0
Semana 7	Bomba 4	Falla por desgaste en los sellos de la bomba	19/02/2021	Correctivo	4.0
Semana 7	Bomba 5	Falla en la cabeza de descarga	18/02/2021	Preventivo	9.0
Semana 7	Bomba 6	Falla de la línea de descarga	21/02/2021	Correctivo	9.0
Semana 7	Bomba 7	Falla por congelamiento del rodamiento	15/02/2021	Correctivo	10.0
Semana 7	Bomba 8	Falla en el eje del rotor	15/02/2021	Correctivo	7.0
Semana 7	Bomba 9	Falla en el eje o cojines	20/02/2021	Preventivo	20.0
Semana 7	Bomba 10	Falla por funcionamiento incorrecto en los sellos	20/02/2021	Correctivo	11.0

Semana 7	Bomba 11	Falla por desgaste en los sellos de la bomba	17/02/2021	Correctivo	18.0
Semana 7	Bomba 12	Falla en la cabeza de descarga	21/02/2021	Preventivo	18.0
Semana 7	Bomba 13	Falla de la línea de descarga	15/02/2021	Correctivo	17.0
Semana 7	Bomba 14	Falla en la válvula de estrangulamiento de descarga	18/02/2021	Correctivo	11.0
Semana 7	Bomba 15	Falla en la válvula de retención	18/02/2021	Preventivo	11.0
Semana 7	Bomba 16	Obstrucción de la rejilla	21/02/2021	Correctivo	16.0
Semana 7	Bomba 17	Falla en el sentido del impulsor	20/02/2021	Correctivo	20.0
Semana 7	Bomba 18	Falla por desgaste de paletas del impulsor	20/02/2021	Preventivo	6.0
Semana 7	Bomba 19	Falla por obstrucción del impulsor	21/02/2021	Correctivo	14.0
Semana 7	Bomba 20	Falla en el impulsor por deterioro	18/02/2021	Correctivo	15.0
Semana 7	Bomba 21	Falla por congelamiento del rodamiento	16/02/2021	Correctivo	14.0
Semana 7	Bomba 22	Falla en el eje del rotor	19/02/2021	Preventivo	8.0
Semana 7	Bomba 23	Falla en el eje o cojines	20/02/2021	Correctivo	17.0
Semana 7	Bomba 24	Falla por funcionamiento incorrecto en los sellos	16/02/2021	Correctivo	10.0
Semana 7	Bomba 25	Falla por desgaste en los sellos de la bomba	15/02/2021	Preventivo	13.0
Semana 7	Bomba 26	Falla en la cabeza de descarga	18/02/2021	Preventivo	10.0
Semana 7	Bomba 27	Falla de la línea de descarga	17/02/2021	Correctivo	17.0
Semana 7	Bomba 28	Falla en la cabeza de descarga	21/02/2021	Preventivo	15.0
Semana 7	Bomba 29	Falla de la línea de descarga	19/02/2021	Correctivo	12.0
Semana 7	Bomba 30	Obstrucción de la rejilla	15/02/2021	Correctivo	5.0
Semana 7	Bomba 31	No se proporciona una sobrecarga o protección	18/02/2021	Preventivo	8.0
Semana 8	Bomba 1	Falla en el voltaje del disyuntor	22/02/2021	Correctivo	18.0
Semana 8	Bomba 2	Falla en las bobinas	28/02/2021	Preventivo	6.0
Semana 8	Bomba 3	Falla en el sentido del impulsor	27/02/2021	Correctivo	15.0
Semana 8	Bomba 4	Falla por desgaste de paletas del impulsor	28/02/2021	Correctivo	16.0
Semana 8	Bomba 5	Falla por obstrucción del impulsor	25/02/2021	Preventivo	18.0
Semana 8	Bomba 6	Falla en el sentido del impulsor	22/02/2021	Correctivo	14.0
Semana 8	Bomba 7	Falla por desgaste de paletas del impulsor	25/02/2021	Correctivo	17.0
Semana 8	Bomba 8	Falla por obstrucción del impulsor	26/02/2021	Correctivo	6.0
Semana 8	Bomba 9	Falla en el impulsor por deterioro	22/02/2021	Preventivo	5.0
Semana 8	Bomba 10	Falla por congelamiento del rodamiento	23/02/2021	Correctivo	5.0
Semana 8	Bomba 11	Falla en el eje del rotor	23/02/2021	Correctivo	20.0
Semana 8	Bomba 12	Falla en el eje o cojines	22/02/2021	Preventivo	16.0
Semana 8	Bomba 13	Falla por funcionamiento incorrecto en los sellos	23/02/2021	Correctivo	20.0
Semana 8	Bomba 14	Falla por desgaste en los sellos de la bomba	25/02/2021	Correctivo	20.0
Semana 8	Bomba 15	Falla en la cabeza de descarga	26/02/2021	Preventivo	20.0
Semana 8	Bomba 16	Falla de la línea de descarga	25/02/2021	Correctivo	5.0
Semana 8	Bomba 17	No se proporciona una sobrecarga o protección	26/02/2021	Correctivo	9.0
Semana 8	Bomba 18	Falla en el voltaje de la caja de control	28/02/2021	Preventivo	4.0
Semana 8	Bomba 19	Falla en los niveles de líquido del sumidero	23/02/2021	Correctivo	20.0
Semana 8	Bomba 20	Falla en los niveles de líquido	26/02/2021	Correctivo	14.0
Semana 8	Bomba 21	Falla en el voltaje del disyuntor	27/02/2021	Correctivo	11.0
Semana 8	Bomba 22	Falla en las bobinas	23/02/2021	Preventivo	6.0
Semana 8	Bomba 23	Falla en el sentido del impulsor	28/02/2021	Correctivo	13.0
Semana 8	Bomba 24	Falla en el eje del rotor	28/02/2021	Correctivo	13.0
Semana 8	Bomba 25	Falla en el eje o cojines	25/02/2021	Preventivo	5.0
Semana 8	Bomba 26	Falla por funcionamiento incorrecto en los sellos	25/02/2021	Preventivo	14.0

Semana 8	Bomba 27	Falla por desgaste en los sellos de la bomba	26/02/2021	Correctivo	16.0
Semana 8	Bomba 28	Falla en la cabeza de descarga	27/02/2021	Preventivo	14.0
Semana 8	Bomba 29	Falla de la línea de descarga	22/02/2021	Correctivo	12.0
Semana 8	Bomba 30	Obstrucción de la rejilla	22/02/2021	Correctivo	12.0
Semana 8	Bomba 31	No se proporciona una sobrecarga o protección	25/02/2021	Preventivo	14.0
Semana 9	Bomba 1	Falla en el voltaje del disyuntor	1/03/2021	Correctivo	17.0
Semana 9	Bomba 2	Falla en las bobinas	7/03/2021	Preventivo	17.0
Semana 9	Bomba 3	Falla en el sentido del impulsor	5/03/2021	Correctivo	7.0
Semana 9	Bomba 4	Falla por desgaste de paletas del impulsor	4/03/2021	Correctivo	6.0
Semana 9	Bomba 5	Falla por obstrucción del impulsor	3/03/2021	Preventivo	5.0
Semana 9	Bomba 6	Falla en el impulsor por deterioro	2/03/2021	Correctivo	13.0
Semana 9	Bomba 7	Falla en el voltaje de la caja de control	7/03/2021	Correctivo	10.0
Semana 9	Bomba 8	Falla en los niveles de líquido del sumidero	5/03/2021	Correctivo	19.0
Semana 9	Bomba 9	Falla en los niveles de líquido	7/03/2021	Preventivo	9.0
Semana 9	Bomba 10	Falla en el voltaje del disyuntor	5/03/2021	Correctivo	6.0
Semana 9	Bomba 11	Falla en las bobinas	3/03/2021	Correctivo	9.0
Semana 9	Bomba 12	Falla en el sentido del impulsor	4/03/2021	Preventivo	12.0
Semana 9	Bomba 13	Falla en el eje del rotor	6/03/2021	Correctivo	8.0
Semana 9	Bomba 14	Falla en el eje o cojines	7/03/2021	Correctivo	20.0
Semana 9	Bomba 15	Falla por funcionamiento incorrecto en los sellos	2/03/2021	Preventivo	13.0
Semana 9	Bomba 16	Falla por desgaste en los sellos de la bomba	2/03/2021	Correctivo	4.0
Semana 9	Bomba 17	Falla en la cabeza de descarga	3/03/2021	Correctivo	14.0
Semana 9	Bomba 18	Falla en el voltaje de la caja de control	2/03/2021	Preventivo	20.0
Semana 9	Bomba 19	Falla en los niveles de líquido del sumidero	3/03/2021	Correctivo	18.0
Semana 9	Bomba 20	Falla en los niveles de líquido	2/03/2021	Correctivo	20.0
Semana 9	Bomba 21	Falla en el voltaje del disyuntor	6/03/2021	Correctivo	4.0
Semana 9	Bomba 22	Falla en las bobinas	6/03/2021	Preventivo	11.0
Semana 9	Bomba 23	Falla en el sentido del impulsor	7/03/2021	Correctivo	11.0
Semana 9	Bomba 24	Falla en el eje del rotor	3/03/2021	Correctivo	8.0
Semana 9	Bomba 25	Falla en el eje o cojines	3/03/2021	Preventivo	17.0
Semana 9	Bomba 26	Falla por funcionamiento incorrecto en los sellos	5/03/2021	Preventivo	15.0
Semana 9	Bomba 27	Falla en el voltaje de la caja de control	2/03/2021	Correctivo	12.0
Semana 9	Bomba 28	Falla en los niveles de líquido del sumidero	5/03/2021	Preventivo	11.0
Semana 9	Bomba 29	Falla en los niveles de líquido	3/03/2021	Correctivo	10.0
Semana 9	Bomba 30	Falla en el voltaje del disyuntor	3/03/2021	Correctivo	17.0
Semana 9	Bomba 31	Falla en las bobinas	6/03/2021	Preventivo	11.0
Semana 10	Bomba 1	Falla en el sentido del impulsor	8/03/2021	Correctivo	9.0
Semana 10	Bomba 2	Falla en el eje del rotor	14/03/2021	Preventivo	13.0
Semana 10	Bomba 3	Falla en el eje o cojines	8/03/2021	Correctivo	4.0
Semana 10	Bomba 4	Falla por funcionamiento incorrecto en los sellos	13/03/2021	Correctivo	4.0
Semana 10	Bomba 5	Falla por desgaste en los sellos de la bomba	13/03/2021	Preventivo	16.0
Semana 10	Bomba 6	Falla en la cabeza de descarga	14/03/2021	Correctivo	17.0
Semana 10	Bomba 7	Falla por congelamiento del rodamiento	10/03/2021	Correctivo	13.0
Semana 10	Bomba 8	Falla en el eje del rotor	11/03/2021	Correctivo	15.0
Semana 10	Bomba 9	Falla en el eje o cojines	8/03/2021	Preventivo	17.0
Semana 10	Bomba 10	Falla por funcionamiento incorrecto en los sellos	12/03/2021	Correctivo	6.0
Semana 10	Bomba 11	Falla por desgaste en los sellos de la bomba	14/03/2021	Correctivo	16.0
Semana 10	Bomba 12	Falla en la cabeza de descarga	9/03/2021	Preventivo	5.0
Semana 10	Bomba 13	Falla de la línea de descarga	11/03/2021	Correctivo	12.0
Semana 10	Bomba 14	Falla en la válvula de estrangulamiento de desca	11/03/2021	Correctivo	19.0
Semana 10	Bomba 15	Falla en la válvula de retención	13/03/2021	Preventivo	11.0
Semana 10	Bomba 16	Obstrucción de la rejilla	12/03/2021	Correctivo	6.0
Semana 10	Bomba 17	No se proporciona una sobrecarga o protección	10/03/2021	Correctivo	7.0
Semana 10	Bomba 18	Falla en el voltaje de la caja de control	9/03/2021	Preventivo	7.0
Semana 10	Bomba 19	Falla en los niveles de líquido del sumidero	14/03/2021	Correctivo	20.0

Semana 10	Bomba 20	Falla en los niveles de líquido	8/03/2021	Correctivo	17.0
Semana 10	Bomba 21	Falla en el voltaje del disyuntor	9/03/2021	Correctivo	14.0
Semana 10	Bomba 22	Falla en las bobinas	8/03/2021	Preventivo	6.0
Semana 10	Bomba 23	Falla en el voltaje de la caja de control	11/03/2021	Correctivo	18.0
Semana 10	Bomba 24	Falla en los niveles de líquido del sumidero	8/03/2021	Correctivo	13.0
Semana 10	Bomba 25	Falla en los niveles de líquido	8/03/2021	Preventivo	6.0
Semana 10	Bomba 26	Falla en el voltaje del disyuntor	9/03/2021	Preventivo	5.0
Semana 10	Bomba 27	Falla en las bobinas	12/03/2021	Correctivo	4.0
Semana 10	Bomba 28	Falla en el sentido del impulsor	14/03/2021	Preventivo	20.0
Semana 10	Bomba 29	Falla en el eje del rotor	14/03/2021	Correctivo	5.0
Semana 10	Bomba 30	Falla en el eje o cojines	8/03/2021	Correctivo	19.0
Semana 10	Bomba 31	Falla por funcionamiento incorrecto en los sellos	14/03/2021	Preventivo	9.0
Semana 11	Bomba 1	Falla por desgaste en los sellos de la bomba	15/03/2021	Correctivo	20.0
Semana 11	Bomba 2	Falla en la cabeza de descarga	21/03/2021	Preventivo	6.0
Semana 11	Bomba 3	Falla en el sentido del impulsor	16/03/2021	Correctivo	5.0
Semana 11	Bomba 4	Falla por desgaste de paletas del impulsor	17/03/2021	Correctivo	9.0
Semana 11	Bomba 5	Falla por obstrucción del impulsor	16/03/2021	Preventivo	12.0
Semana 11	Bomba 6	Falla en el impulsor por deterioro	21/03/2021	Correctivo	5.0
Semana 11	Bomba 7	Falla por congelamiento del rodamiento	20/03/2021	Correctivo	5.0
Semana 11	Bomba 8	Falla en el eje del rotor	19/03/2021	Correctivo	14.0
Semana 11	Bomba 9	Falla en el eje o cojines	21/03/2021	Preventivo	10.0
Semana 11	Bomba 10	Falla por funcionamiento incorrecto en los sellos	16/03/2021	Correctivo	6.0
Semana 11	Bomba 11	Falla por desgaste en los sellos de la bomba	15/03/2021	Correctivo	15.0
Semana 11	Bomba 12	Falla en la cabeza de descarga	19/03/2021	Preventivo	5.0
Semana 11	Bomba 13	Falla de la línea de descarga	16/03/2021	Correctivo	13.0
Semana 11	Bomba 14	Falla en la válvula de estrangulamiento de desca	21/03/2021	Correctivo	11.0
Semana 11	Bomba 15	Falla en el voltaje de la caja de control	18/03/2021	Preventivo	20.0
Semana 11	Bomba 16	Falla en los niveles de líquido del sumidero	21/03/2021	Correctivo	11.0
Semana 11	Bomba 17	Falla en los niveles de líquido	17/03/2021	Correctivo	4.0
Semana 11	Bomba 18	Falla en el voltaje del disyuntor	15/03/2021	Preventivo	10.0
Semana 11	Bomba 19	Falla en las bobinas	17/03/2021	Correctivo	6.0
Semana 11	Bomba 20	Falla en el sentido del impulsor	21/03/2021	Correctivo	6.0
Semana 11	Bomba 21	Falla en el eje del rotor	21/03/2021	Correctivo	19.0
Semana 11	Bomba 22	Falla en el eje o cojines	21/03/2021	Preventivo	16.0
Semana 11	Bomba 23	Falla por funcionamiento incorrecto en los sellos	21/03/2021	Correctivo	6.0
Semana 11	Bomba 24	Falla por desgaste en los sellos de la bomba	16/03/2021	Correctivo	15.0
Semana 11	Bomba 25	Falla en la cabeza de descarga	16/03/2021	Preventivo	12.0
Semana 11	Bomba 26	Falla por funcionamiento incorrecto en los sellos	19/03/2021	Preventivo	6.0
Semana 11	Bomba 27	Falla por desgaste en los sellos de la bomba	16/03/2021	Correctivo	20.0
Semana 11	Bomba 28	Falla en la cabeza de descarga	20/03/2021	Preventivo	10.0
Semana 11	Bomba 29	Falla de la línea de descarga	17/03/2021	Correctivo	5.0
Semana 11	Bomba 30	Obstrucción de la rejilla	16/03/2021	Correctivo	4.0
Semana 11	Bomba 31	No se proporciona una sobrecarga o protección	18/03/2021	Preventivo	20.0
Semana 12	Bomba 1	Falla en el voltaje del disyuntor	22/03/2021	Correctivo	9.0
Semana 12	Bomba 2	Falla en las bobinas	28/03/2021	Preventivo	17.0
Semana 12	Bomba 3	Falla en el sentido del impulsor	28/03/2021	Correctivo	16.0
Semana 12	Bomba 4	Falla por desgaste de paletas del impulsor	25/03/2021	Correctivo	14.0
Semana 12	Bomba 5	Falla por obstrucción del impulsor	27/03/2021	Preventivo	19.0
Semana 12	Bomba 6	Falla en el impulsor por deterioro	25/03/2021	Correctivo	7.0
Semana 12	Bomba 7	Falla por congelamiento del rodamiento	22/03/2021	Correctivo	7.0
Semana 12	Bomba 8	Falla en el eje del rotor	28/03/2021	Correctivo	17.0
Semana 12	Bomba 9	Falla en el eje o cojines	23/03/2021	Preventivo	16.0
Semana 12	Bomba 10	Falla por funcionamiento incorrecto en los sellos	27/03/2021	Correctivo	4.0
Semana 12	Bomba 11	Falla por desgaste en los sellos de la bomba	25/03/2021	Correctivo	20.0
Semana 12	Bomba 12	Falla en la cabeza de descarga	26/03/2021	Preventivo	11.0
Semana 12	Bomba 13	Falla de la línea de descarga	26/03/2021	Correctivo	14.0
Semana 12	Bomba 14	Falla en la válvula de estrangulamiento de desca	25/03/2021	Correctivo	17.0
Semana 12	Bomba 15	Falla en la válvula de retención	28/03/2021	Preventivo	9.0
Semana 12	Bomba 16	Obstrucción de la rejilla	25/03/2021	Correctivo	18.0
Semana 12	Bomba 17	No se proporciona una sobrecarga o protección	25/03/2021	Correctivo	6.0

Semana 12	Bomba 18	Falla en el voltaje de la caja de control	23/03/2021	Preventivo	18.0
Semana 12	Bomba 19	Falla en los niveles de líquido del sumidero	23/03/2021	Correctivo	4.0
Semana 12	Bomba 20	Falla en los niveles de líquido	24/03/2021	Correctivo	7.0
Semana 12	Bomba 21	Falla en el voltaje del disyuntor	27/03/2021	Correctivo	17.0
Semana 12	Bomba 22	Falla en las bobinas	26/03/2021	Preventivo	11.0
Semana 12	Bomba 23	Falla en el sentido del impulsor	28/03/2021	Correctivo	15.0
Semana 12	Bomba 24	Falla en el eje del rotor	22/03/2021	Correctivo	6.0
Semana 12	Bomba 25	Falla en el eje o cojines	27/03/2021	Preventivo	9.0
Semana 12	Bomba 26	Falla por funcionamiento incorrecto en los sellos	26/03/2021	Preventivo	15.0
Semana 12	Bomba 27	Falla por desgaste en los sellos de la bomba	23/03/2021	Correctivo	5.0
Semana 12	Bomba 28	Falla en la cabeza de descarga	23/03/2021	Preventivo	12.0
Semana 12	Bomba 29	Falla de la línea de descarga	27/03/2021	Correctivo	12.0
Semana 12	Bomba 30	Obstrucción de la rejilla	22/03/2021	Correctivo	18.0
Semana 12	Bomba 31	No se proporciona una sobrecarga o protección	28/03/2021	Preventivo	6.0

Anexo 8. Cronograma para la implementación de la propuesta

SEMANAS		Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5	Semana 6	Semana 7	Semana 8	Semana 9	Semana 10	Semana 11	Semana 12																																	
DÍAS		L	M	J	V	S	L	M	J	V	S	L	M	J	V	S	L	M	J	V	S	L	M	J	V	S	L	M	J	V	S	L	M	J	V	S	L	M	J	V	S	L	M	J	V	S
ETAPAS	ACTIVIDADES																																													
	Diagnóstico	Planteamiento de herramientas de recolección de datos	■	■																																										
Observación directa de la situación			■	■	■																																									
Medición y planteamiento de las deficiencias en escrito				■	■	■																																								
Reunión con el gerente					■																																									
Valoración de las fallas críticas					■	■	■																																							
Propuesta	Planificación de mejoras						■	■	■	■	■																																			
	Definición de los recursos						■	■	■	■	■																																			
	Planificación de actividades											■	■	■	■	■																														
	Realización del plan de mantenimiento												■	■																																
	Aprobación de mejoras por implementar													■																																
Ejecución y evaluación	Ejecución del plan de mantenimiento													■	■	■																														
	Implementación del plan de mantenimiento														■	■	■																													
	Seguimiento de las labores y observación de la situación actual mediante indicadores																■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■					
	Evaluación del plan de mantenimiento																																													
	Reunión con el gerente para constatar las mejoras																																								■					

